

Universidad de Matanzas

“Camilo Cienfuegos”

Facultad de Ingenierías

Departamento de Ingeniería Química



Título: “Evaluación de Atmósferas Peligrosas en la Planta
Energas S.A, Varadero”

Tesis presentada en opción al título académico de Ingeniero Químico

Autora: Geivis Acosta Mesa.

Tutor: Ing. Daimarys Castro Hernández.

Matanzas, Cuba

Julio 2012

Declaración de autoría.

Yo, Geivis Acosta Mesa, declaro que soy la única autora de este Trabajo de Diploma y lo pongo a disposición de la Empresa Energas S.A, Varadero y de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, para hacer uso del mismo con el objetivo y finalidad que se estime conveniente.

Geivis Acosta Mesa

Nota de Aceptación.

Presidente del Tribunal

Firma

Miembro del Tribunal

Firma

Miembro del Tribunal

Firma

Miembro del Tribunal

Firma

Para que así conste firmamos la presente a los ____ días del mes de _____ del 2012.

*“A mente que se abre a uma
nova idéia jamais voltará ao
seu tamanho original”*

*“La mente que se abre a una
nueva idea jamás volverá a
su tamaño original”*



$$E = mc^2$$

*Albert
Einstein*

Dedicatoria.

- A mi mamá, Rosario y a mi papá Leonardo por ayudarme y brindarme todo el apoyo y el cariño que necesité.
- A mi hermano Cristhian por ser el mejor hermano del mundo.
- A mi familia por su amor incondicional y su ayuda en todo momento.

Agradecimientos.

- A mi tutora Ing. Daimarys Castro Hernández por dedicarme gran parte de su tiempo y ayudarme en todo el transcurso de mi carrera.
- A mis compañeros de aula por todos los buenos momentos que pasamos juntos.
- A los trabajadores de Energas S.A, Varadero por ayudarme en la confección de esta tesis, especialmente a Eduardo Hernández por su tiempo.
- A todos los profesores de la facultad de química que me impartieron clase.
- Al claustro de profesores de Ingenierías de Procesos por la ayuda brindada.
- A la Dra. María del Pilar Almeida Galván por brindarme su ayuda en cada momento necesario.
- A la Dra. Lilian Curiel Lorenzo por la revisión de la tesis.

Resumen.

El presente trabajo de diploma consiste en evaluar las atmósferas peligrosas en la Empresa Energas S.A, Varadero ante un posible accidente químico, ya que dicha instalación opera con sustancias altamente peligrosas como: gas licuado, sulfuro de hidrógeno, propano, entre otras. Se utiliza el *software* ALOHA (*ArealLocations of HazardousAtmospheres*) para describir la evolución de una nube de gas tóxica o inflamable en la atmósfera según la dirección del viento, se determina la distancia que puede alcanzar la nube en las diferentes zonas peligrosas que indica el programa, y con esas predicciones se establece cómo afecta a las personas que trabajan en la Empresa y a los habitantes que viven cercanos a ella. Los resultados muestran que las sustancias de mayor riesgo atendiendo a su distancia longitudinal, concentración y rumbo del viento son: sulfuro de hidrógeno en el escenario 1, para el escenario 2 que es nube inflamable de vapor el gas licuado es quien alcanza la mayor dispersión y en el escenario 3: área de una explosión el propano y el gas licuado son las sustancias más peligrosas.

Abstract.

The present Thesis consists in evaluating the unsafe atmospheres in the Company Energas S.A, Varadero shipyard in front of a possible chemical accident, since the aforementioned installation operates with highly unsafe substances, like: liquefied gas, hydrogen sulfide, propane, among others. The softwareALOHA (*Areal Locations of Hazardous Atmospheres*)is used to describe the toxic or inflammable evolution of a gas cloud in the atmosphere according to the direction of the wind, the distance that the cloud can reach at the different unsafe zones that are showed by the program are determinedand with those predictions is established how affects the people that work at the Company and to the habitants that live close to that site. The results evidence that the substances of bigger risk attending to his longitudinal distance, concentration and direction of the wind are: hydrogen sulfide on the scene1, for the scene 2 the fact that the inflammable steam-driven cloud is the liquefied gas is who attains the bigger dispersion and on the scene3: area of an explosion, propane and the liquefied gas are the more unsafe substances.

Índice.

Introducción	1
Capítulo 1. Análisis Bibliográfico	3
1.1. Principales definiciones sobre los riesgos	3
1.2. Definición de peligro, accidente, emergencia, desastre y su nomenclatura	5
1.3. Clasificación toxicológica de las sustancias por sus efectos sobre el organismo	13
1.4. Gestión de la prevención de los riesgos químicos	19
1.5. La dispersión de contaminantes químicos en la atmósfera	21
1.6. Modelos de dispersión	23
1.7. Conclusiones parciales del capítulo	27
Capítulo 2. Materiales y Métodos	28
2.1. Descripción del proceso	28
2.2. Procedimiento para la caracterización climatológica de la zona objeto de estudio	33
2.3. Procedimiento de identificación de las sustancias involucradas en el proceso	34
2.4. Caracterización del software ALOHA	37
2.4.1. Aspectos generales de la modelación con ALOHA	37
2.5. Metodología para la utilización del software ALOHA	40
Capítulo 3. Análisis de los resultados	44
3.1. Resultados de la caracterización del clima de la zona objeto de estudio	44
3.2. Análisis de las sustancias peligrosas que pueden provocar posibles accidentes en la zona objeto de estudio	48
3.3. Resultados de la aplicación del software ALOHA	51
3.3.1. Establecimiento de las condiciones de trabajo con el software	51
3.3.2. Estimación del comportamiento de la dispersión de los diferentes contaminantes a través del software ALOHA	52
3.3.3. Resumen del comportamiento de las áreas de riesgo para los diferentes escenarios y contaminantes	60
3.3.4. Impacto de la predicciones realizadas sobre la zona objeto de estudio	66
Conclusiones	70
Recomendaciones	71
Bibliografía	72
Anexos	77

Introducción.

En todo proceso industrial independientemente de la tecnología empleada y los sistemas de control existe una alta probabilidad de un aumento del riesgo para provocar un desastre de origen tecnológico u operacional, el cual está directamente relacionado con el proceder del hombre en las diferentes operaciones que debe realizar.

El uso de sustancias químicas se ha generalizado en todas las actividades económicas, incluso en la vida doméstica. Muchas de ellas pueden entrañar, sin la adopción de determinadas precauciones, riesgos para la salud y el medio ambiente. Los riesgos químicos pueden ser debidos, bien a factores intrínsecos a los propios productos, bien a factores externos relacionados fundamentalmente con la inseguridad con la que se manipulan, mientras que el tema relacionado con el riesgo industrial es relativamente nuevo, principalmente porque la problemática ha adquirido una mayor importancia en las últimas décadas producto del aumento de las actividades industriales y del desarrollo tecnológico. Se puede decir que la base de la seguridad industrial empieza por una identificación de los riesgos. Como para casi todo, existe una normativa vigente que regula las condiciones de seguridad y de higiene mínimas que se deben dar para el almacenamiento y manejo de productos industriales, ya se trate de materias primas, productos semi-elaborados o productos elaborados. Además, esta normativa se hace más estricta y, al mismo tiempo, más necesaria cuando se trata de productos peligrosos.

La presente tesis se desarrolla en la Empresa Energas S.A, Varadero ubicada en la carretera Cárdenas Varadero y colinda con la Batería Central (Planta de Procesamiento de Crudos). La planta ha sido diseñada para la producción de energía eléctrica a través del gas acompañante del petróleo, este es una mezcla de hidrocarburos cuyo componente principal es el metano, acompañado de otros hidrocarburos e impurezas como agua, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, entre otros. Es el combustible menos dañino al ambiente, por lo que es denominado combustible verde y considerado como la alternativa energética del siglo XXI, de ahí su creciente uso a escala mundial para satisfacer los requerimientos energéticos, por ello, debemos conocer los peligros

que representa un posible escape de esta sustancia y a quienes afectaría, presentándose así el siguiente problema:

Problema: ¿Cómo determinar el peligro potencial que puede representar para la población o al medio ambiente un posible accidente químico en la Empresa Energas S.A, Varadero?

Hipótesis: Si se emplea el software profesional ALOHA será posible estimar las áreas que pudieran ser afectadas ante posibles accidentes químicos en la Empresa Energas S.A, Varadero y las concentraciones de productos químicos que existirán en ellas.

Objetivo general: Estimar con el uso del software ALOHA las áreas que potencialmente pudieran ser dañadas ante la ocurrencia de posibles accidentes químicos con diferentes tipos de sustancias en la Empresa Energas S.A, Varadero.

Objetivos específicos:

1. Caracterización de los productos químicos peligrosos.
2. Caracterización climatológica de la zona objeto de estudio.

Capítulo 1. Análisis Bibliográfico.

En este capítulo se abordarán temáticas como: las definiciones principales de accidentes, riesgos, emergencia, nivel de seguridad, probabilidad, entre otros. Además se conocerán los principales métodos de evaluación de riesgos, la clasificación toxicológica de las sustancias por sus efectos en el organismo y el plan de prevención en caso de riesgos químicos.

1.1 Principales definiciones sobre los riesgos.

La concepción del riesgo es una abstracción de origen completamente humano, que se asocia con la idea de prevenir sin certeza, ha estado presente siempre en las sociedades humanas. El riesgo es la probabilidad de que una amenaza se convierta en desastre.

Para poder medir el riesgo la expresión más generalizada es el producto de la probabilidad de la ocurrencia del evento considerado por las consecuencias esperadas:

Riesgo = Amenaza x Vulnerabilidad, es decir, esta fórmula expresa matemáticamente que: si estamos ante la presencia de una amenaza (peligro) y surge una vulnerabilidad (humana) asociada ante la misma, entonces existe un riesgo. La amenaza era considerada como el factor activo y la vulnerabilidad como el factor pasivo. (Soldano, 2008), (Maskrey, 1994)

Para la evaluación de la vulnerabilidad podemos discriminar sus componentes principales (Soldano, 2008)

- Exposición: Es la distribución de lo que es potencialmente afectable (Población y bienes)
- Vulnerabilidad (propiamente dicha): Consiste en la capacidad diferenciada de hacer frente al evento catastrófico, consiste en las siguientes actividades:
 - Preparación
 - Prevención
 - Estrategias de recuperación

- Incertidumbre: Limitaciones en el estado del conocimiento y las indeterminaciones jurisdiccionales, administrativas y normativas. Se Pueden clasificar como:
 - Incertidumbre técnico- científica
 - Incertidumbre político-administrativa

Para la evaluación del peligro se han desarrollado hasta el presente cuatro tipos de evaluaciones:

- Análisis histórico: El mapeo de eventos históricos permite determinar periodos de retorno y magnitud de los mismos.
- Análisis Heurístico (o Experto): La susceptibilidad (mayor o menor predisposición) del territorio ante un tipo particular de amenaza es determinada por un especialista (en esta amenaza) basado en su experiencia (determinara los criterios y su ponderación)
- Análisis estadístico: Analiza las condiciones bajo las cuales ocurrieron los eventos generadores de amenaza en basa a relaciones estadísticas de los datos de los mismos.
- Análisis determinístico: Se simulan los eventos utilizando modelos matemáticos basados en los fenómenos involucrados.

Según Acosta (2008), López (2010), se define el riesgo como el daño causado por la probabilidad de ocurrencia de dicho daño.

Riesgo = Daño x Probabilidad

Según Gálvez, 2001 el riesgo es la probabilidad de exceder un valor específico de daños, en un lugar dado y durante un tiempo de exposición determinado. El riesgo existe en función de la amenaza y vulnerabilidad.

Según Correa (2004), Morales (2004), Hernández (2009), López (2010), el riesgo se define como: **Riesgo = frecuencia x magnitud de sus consecuencias**

Los riesgos de forma general se pueden clasificar según Casal (*et. al*, 2001) de la siguiente forma:

- Riesgos convencionales: relacionados con la actividad y el equipo existente en cualquier sector (electrocución, caídas).
- Riesgos específicos: asociados a la utilización o manipulación de productos que, por su naturaleza, pueden ocasionar daños (productos tóxicos, radioactivos).
- Riesgos mayores: relacionados con accidentes y situaciones excepcionales. Sus consecuencias pueden presentar una especial gravedad ya que la rápida expulsión de productos peligrosos o de energía podría afectar a áreas considerables (escape de gases, explosiones).

La autora de esta tesis coincide con Correa (2004), Morales (2004), Hernández (2009), López (2010), el riesgo es la **frecuencia por la magnitud de sus consecuencias**.

1.2 Definición de peligro, accidente, emergencia, desastre y su nomenclatura.

La humanidad en forma constante está expuesta a amenazas existentes en su entorno, añade a esta vulnerabilidad, el uso inapropiado del espacio y su conducta a menudo transgresora. Tanto los sucesos naturales como los derivados por la actividad humana, son causas de emergencias, peligros y desastres en todo el mundo.

Según Smith (1996), los peligros, riesgos y desastres operan en diferentes escalas y conforme a la severidad se les pueden reconocer las siguientes amenazas:

- Peligro para la gente(muerte, lesiones, enfermedad, stress)
- Peligro para los bienes (daños a la propiedad, pérdida económica)
- Peligro para el ambiente(pérdida de la flora y fauna, contaminación)

Puede definirse el peligro como aquello que puede producir un accidente o un daño. El riesgo, sin embargo, estaría asociado a la probabilidad de que un peligro se convierta realmente en un accidente con unas consecuencias determinadas según Muñoz (1992), Hernández (2009).

Para Cutter (1993), los peligros no son actos de Dios, ni tampoco un evento extremo geofísico, son producto de nuestra sociedad. Como tales están metidos en un contexto más amplio, político, económico, social e histórico y son inseparables de ello. Es imposible entender el peligro sin examinar el contexto dentro del cual ocurre. Los elementos de complejidad, sorpresa e interdependencia, son características principales de los peligros.

Para OIT (1993), el rápido aumento del empleo de sustancias químicas peligrosas en la industria y el comercio ha producido un incremento del número de personas, tanto trabajadores como ciudadanos en general, cuya vida podría estar en peligro en cualquier momento debido a un accidente ocasionado por esas sustancias. Además plantean que los riesgos industriales graves suelen estar relacionadas con la posibilidad de incendio, explosión o dispersión (escape) de sustancias (gases) químicas tóxicas. La autora coincide con Muñoz (1992), Hernández (2009) el peligros es aquello que puede producir un accidente o un daño.

Terminología usada en el ámbito de seguridad industrial:

Daño: Perjuicio causado en las personas, propiedades o medio ambiente, incluyendo tanto los de tipo biológico, con su repercusión económica correspondiente, y los meramente económicos. (Zagal, 1996), (PNUMA/IPSC, 1999), (Rodríguez, T 2006), (Hernández, 2009), (López, 2010).

Según Sindicato Independiente de Trabajadores de los Colegios de Bachilleres (2009) el peligro es una fuente o situación de riesgo inminente con capacidad de daño en términos de lesiones, daños a la propiedad, daños al medio ambiente o una combinación de ambos.

Peligro: Posibilidad de que se produzca un daño, generalmente significando la calidad y cuantía del daño probable. Por ejemplo, peligro de muerte por electrocución. (Zagal, 1996), (PNUMA/IPSC, 1999), (Rodríguez, 2006)

El peligro es la probabilidad de ocurrencia de todo evento que afecte a seres humanos. (Soldano, 2008)

Se define el peligro según Galán (2002), Hernández (2009) como el riesgo o contingencia inminente de que suceda algún mal, el lugar, paso, obstáculo o situación en que aumenta la inminencia del daño. Se considera que es una propiedad intrínseca de la sustancia para causar un efecto adverso.

Probabilidad de un suceso: Es el número al que tiende la frecuencia relativa asociada al suceso a medida que el número de veces que se realiza el experimento crece.

Accidente: De forma general se trata como una situación no habitual en el oficio o instalación que se considera. (PNUMA/IPSC, 1999), (Rodríguez, 2006), (Hernández, 2009), (López, 2010).

Pueden existir dos tipos de accidentes: (Sindicato Independiente de Trabajadores de los Colegios de Bachilleres, 2009)

1. Accidente de trabajo: toda lesión orgánica o perturbación funcional, inmediata o posterior, o la muerte producida repentinamente en ejercicio o con motivo del trabajo cualesquiera que sea el lugar y el tiempo en que se presente.
2. Accidente laboral: cualquier suceso no esperado ni deseado que da lugar a pérdidas de la salud o lesiones de los trabajadores.

Accidentes de trabajo: Es toda lesión médico quirúrgica o perturbación psíquica o funcional, permanente o transitoria, inmediata o posterior, o la muerte, producido por la acción repentina de una causa exterior que puede ser medida, sobrevenida durante el trabajo, en ejercicio de este, o como consecuencia del mismo; y toda lesión interna determinada por un violento esfuerzo, producida en las mismas circunstancias. (Sindicato Independiente de Trabajadores de los Colegios de Bachilleres, 2009)

Según Linares (2001), Martínez (2009) y Nguyen (2011), se conoce como accidente de trabajo, toda aquella lesión corporal que el trabajador sufra en ocasión o por consecuencia del trabajo que ejecuta por cuenta ajena. Es decir que si no hay lesiones no existe accidente.

Existen diversas categorías de accidentes:

Categoría 1: Sólo dañan materiales en la instalación.

Categoría 2: Se prevén posibles víctimas y daños materiales, el efecto exterior es leve.

Categoría 3: Hay víctimas, daños materiales y al medio ambiente. Se afectan zonas externas.

Los accidentes de gran magnitud que pueden tener lugar en una industria están casi siempre asociados a la pérdida de contención de un producto tóxico o inflamable, generalmente un fluido. En función del estado del mismo y de sus características, puede producirse un incendio, una nube tóxica o inflamable. (Rodríguez, 2006), (Hernández, 2009), (Acosta, 2008), (López, 2010), (Castro, 2012)

Desastre: Son alteraciones intensas en las personas, los bienes, los servicios y el medio ambiente causadas por un suceso natural o provocadas por la actividad humana, que sobrepasan la capacidad de respuesta de la comunidad afectada, por lo que requiere apoyo externo. (Gálvez, 2001)

Se entiende por desastre al daño grave o la alteración grave de las condiciones normales de vida en un área geográfica determinada, causado por fenómenos naturales y por efectos catastróficos de la acción del hombre en forma accidental, que requiera por ello de la especial atención de los organismos del estado y de otras entidades de carácter humanitario o de servicio social. (Decreto 919, 1989)

Según PNUMA/IPSC (1999), Rodríguez, T (2006), Hernández (2009), Acosta (2008), Joaquín (1999), López (2010), los desastres son acontecimientos de un infortunio que destruye las estructuras básicas y el funcionamiento normal de una sociedad o comunidad. Un acontecimiento o serie de sucesos que causen amplias pérdidas de vidas humanas, materiales y/o ambientales, que sobrepasan la capacidad de la sociedad afectada para dar abasto utilizando sus propios recursos

Para Gálvez (2001) los desastres tienen 3 etapas:

1. Fase antes:

Prevención: Conjunto acciones para impedir o evitar que sucesos naturales o provocados por la actividad humana causen daño. Las acciones pueden aplicarse unas veces a la amenaza, otras a la vulnerabilidad y en algunas oportunidades sobre los dos factores.

Mitigación: Resultado de una intervención dirigida a reducir riesgos. En eventos adversos se refiere a la acción que tiene por objeto modificar una amenaza o las características intrínsecas de un sistema biológico, físico o social con el fin de reducir su vulnerabilidad.

Preparación: Conjunto de medidas y acciones para reducir al mínimo la pérdida de vidas humanas y otros daños, organizando oportuna y eficazmente la respuesta y rehabilitación. La preparación incluye: Organización interinstitucional y definición de funciones a nivel local, regional o nacional, Planificación y coordinaciones, simulaciones y simulacros para comprobar la capacidad de respuesta de las instituciones y comunidad, entre otros.

Alerta: Estado declarado con el fin de tomar precauciones específicas ante la probable y cercana ocurrencia de un evento adverso

La declaración de alerta debe ser: Clara, asequible, inmediata, coherente, oficial.

2. Fase durante:

Respuesta: Acciones llevadas a cabo ante un evento adverso y que tienen por objeto salvar vidas, reducir el sufrimiento y disminuir pérdidas.

3. Fase después:

Rehabilitación: Recuperación a corto plazo de los servicios básicos e inicio de la reparación del daño físico, social y económico. Es el primer paso del proceso de recuperación y desarrollo.

Reconstrucción: Proceso de reparación a mediano y largo plazo del daño físico, social y económico, a un nivel de desarrollo igual o superior al existente antes del evento. Esta etapa tiene tres objetivos: Creación de nuevas fuentes de trabajo, reparación de daños materiales en especial vivienda e infraestructura y consideraciones de las medidas y acciones de prevención, mitigación de los planes de desarrollo.

Para Cohen & Ahearn (1990), los desastres como crisis, no tarda en diferenciar los términos crisis y emergencia. Una crisis es un período crucial, que varía desde minutos hasta meses, en que una situación afecta el equilibrio social o emocional de la persona. Conforme evoluciona, puede transformarse en una emergencia, o sea una situación con necesidades urgentes y que requiere acción pronta. Además, en forma tradicional, el estudio de los desastres hace énfasis en tres fases de los mismos: pre-impacto, impacto y pos-impacto.

Emergencias: Son eventos adversos de similares características a los desastres, con la diferencia que, la comunidad afectada está en la capacidad de controlarlas por sus propios medios. (Gálvez, 2001)

Se define emergencia como la alteración en las personas, la economía, los sistemas sociales y el medio ambiente, causada por sucesos naturales, generadas por la actividad humana o por la combinación de ambos, cuyas acciones de respuesta pueden ser manejadas con los recursos localmente disponibles. (ACOTAPH, 1989)

Emergencia: Alteraciones en las personas, la economía, los sistemas sociales y el medio ambiente, causadas por sucesos naturales, generadas por la actividad humana, o la combinación de ambos, cuyas acciones de respuesta pueden ser manejadas con los recursos localmente disponibles. Hay dos tipos de emergencias:

- Emergencias de origen natural: Sismos, aluviones, inundaciones, erupciones volcánicas, tsunamis, otros.

- Emergencias de origen humano: Incendios, atentados explosivos, atentados incendiarios, robo con asalto, otros.

Según Rodríguez (2004), Hernández (2009), López (2010), la emergencia es una situación anormal generada con posibilidades de daños graves a las personas, instalaciones y medio ambiente, que provoca la necesidad de medidas especiales dentro y fuera del lugar donde se origina.

Pueden existir tres tipos de emergencias:

Emergencia tipo 1: Generalmente son accidentes de tránsito o industriales, donde se esperan hasta 30 víctimas, de las cuales se calcula hospitalizar a un 20 %, es decir 6 pacientes. Se debe informar al personal e identificar a los responsables del servicio para que realicen las funciones de acuerdo con las tarjetas de acción correspondientes.

Emergencia tipo 2: Accidentes masivos como accidentes carreteros, ferroviarios o industriales, donde se esperan entre 30 y 100 lesionados y hasta 20 Hospitalizados. Se deben identificar a los responsables de los servicios de atención médica que apoyan al de urgencias, para que realicen sus funciones de acuerdo a las tarjetas de acción correspondientes.

Emergencia tipo 3: Corresponde a un desastre. Se espera entre 100 y 500 víctimas y 100 hospitalizaciones. Requiere el apoyo de toda la región e inclusive del País entero. Como acciones se incluyen las de fase I y II. Los responsables de todos los servicios y departamentos de la unidad acudirán al control de mando para recibir instrucciones e informar de inmediato a su personal las actividades a seguir .

Evaluación de riesgos: Técnica para determinar los riesgos asociados a un determinado puesto de trabajo, al uso de algún producto o servicio industrial, o al funcionamiento de una instalación industrial. (Zagal, 1996), (PNUMA/IPCS, 1999), (Rodríguez, 2006), (Hernández, 2009).

La evaluación de riesgos laborales es un proceso destinado a identificar y localizar los posibles riesgos para la seguridad y salud de los trabajadores y a realizar una valoración de los mismos que permita priorizar su corrección.

Plan de prevención: Conjunto de medidas tomadas para evitar los riesgos identificados en la evaluación correspondiente, erradicando algunos de ellos por el propio diseño o funcionamiento del sistema en cuestión, y disminuyendo la probabilidad

de otros tanto como sea razonablemente posible. (Zagal, 1996), (PNUMA/IPCS, 1999), (Rodríguez, 2006), (Castro, 2012)

Según (Sindicato Independiente de Trabajadores de los Colegios de Bachilleres, 2009) un plan de prevención es el conjunto de actividades orientadas a la conservación de la salud de las personas y de la integridad de los bienes en orden a evitar que se produzcan daños significativos.

Propagación de accidente: Secuencia accidental de sucesos en los cuales a partir de una causa, no siempre relevante ni de entidad suficiente, se llega a efectos que pueden ser muy graves. (Zagal, 1996), (PNUMA/IPCS, 1999), (Rodríguez, 2006), (Castro, 2012).

Mitigación de consecuencias: Conjunto de acciones tomadas preventivamente o adoptadas durante la emergencia, con las cuales se evita la propagación amplificada del accidente, acotándose los daños. (PNUMA/IPCS, 1999), (Rodríguez, 2006), (Castro, 2012)

Plan de emergencia: Es el ordenamiento de disposiciones, acciones y elementos necesarios propios de cada establecimiento y de su respectivo entorno inmediato, articulados de manera tal de dar una respuesta eficaz frente a una emergencia.

Según PNUMA/IPCS (1999), Rodríguez (2006), un plan de emergencia es el conjunto de disposiciones para poder reaccionar ante situaciones accidentales o imprevistas. Existen planes de emergencia interiores, que solo involucran a las instalaciones y al personal profesionalmente expuesto, y planes exteriores que afectan a la población circundante o al medio ambiente, y en los cuales ha de intervenir la autoridad pública y protección civil.

Protección civil: Servicio público, generalmente gubernativo, destinado a actuar en emergencias de variado tipo, incluidas las de origen industrial.

Según el Sindicato Independiente de Trabajadores de los Colegios de Bachilleres (2009) la protección civil es un grupo de personas que se les prepara física y mentalmente para desempeñar ciertas funciones, y a este grupo lo conforman personas voluntarias que deseen participar en toda la preparación que se le necesite.

En este epígrafe se ofrecieron las definiciones de peligro, accidentes, emergencia, desastres, así como la terminología usada en el ámbito industrial para los daños,

peligros, probabilidad de sucesos, plan de prevención, propagación de accidentes, mitigación de consecuencias, plan de emergencia, entre otros conceptos.

1.3 Clasificación toxicológica de las sustancias por sus efectos sobre el organismo.

Cuando se trabaja con sustancias y preparados químicos, hay que conocer a qué tipo de riesgo nos estamos enfrentando, para ello hay que conocer la peligrosidad de los productos que estamos manejando.

Según el Servicio de Prevención de Riesgos Laborales (1990) la peligrosidad de los productos químicos son función de:

- Sus propiedades físico-químicas
- Sus propiedades toxicológicas
- Sus efectos sobre la salud humana
- Sus efectos sobre el medio ambiente
- Su reactividad química
- Otros tipos de efectos.

Ver en el Anexos #1 la peligrosidad de los productos químicos y su nomenclatura

Para la prevención de enfermedades relacionadas con las sustancias peligrosas se destacan los criterios de clasificación según los efectos específicos sobre la salud humana. (Casal, *et. al*, 2001), (Duffus & Worth, 1996)

Estos efectos se refieren a:

- Sustancias de toxicidad aguda.
- Sustancias irritantes.
- Sustancias corrosivas.
- Sustancias carcinogénicas.
- Sustancias mutagénicas.
- Sustancias tóxicas para la reproducción.
- Sustancias sensibilizadoras.
- Sustancias de toxicidad por dosis repetidas.

Sustancias de toxicidad aguda: Se refiere a los efectos perjudiciales que pueden derivar de una sola exposición o de múltiples exposiciones a una sustancia en un plazo de 24 horas. La exposición se puede producir por vía oral, cutánea o por inhalación. La valoración del potencial de toxicidad aguda de un producto químico será necesaria para determinar los efectos perjudiciales para la salud que pueden derivarse de una exposición accidental o deliberada a corto plazo: tipos de efectos tóxicos, momento de su aparición, duración y gravedad, relaciones dosis-efecto, y diferencias de respuesta en ambos sexos. Los efectos perjudiciales investigados pueden ser signos clínicos de toxicidad, variaciones anormales de peso y/o alteraciones patológicas en órganos y tejidos, que, en algunos casos, pueden causar la muerte. (Reglamento REACH 1907/2006)

La toxicidad aguda se puede definir como el conjunto de efectos adversos que se producen dentro de un plazo corto (hasta 14 días) después de la administración de una sola dosis (o después de la exposición a determinada concentración) de una sustancia de prueba o después de dosis múltiples (exposiciones), generalmente en un lapso de 24 horas. (Duffus & Worth, 1996), (Rodríguez, 2006), (Hernández, 2009), (Acosta, 2008)

Sustancias irritantes: Sustancias y preparados que no siendo corrosivas, por contacto inmediato, breve o continuado o prolongado o repetido con la piel o las mucosas pueden provocar reacciones inflamatorias. (Reglamento REACH 1907/2006)

Las sustancias irritantes pueden afectar:

- Irritación de los ojos: Para la prueba de irritación de los ojos, se introduce la sustancia en el ojo (0,1mL). La sustancia se clasifica como irritante si se producen lesiones oculares significativas en un lapso de 72 horas después de la exposición y éstas persisten durante 24 horas por lo menos. (IUPAC, 1993), (Acosta, 2008)
- Irritación del sistema respiratorio: La evidencia de una grave irritación en el sistema respiratorio generalmente se basa en la observación en seres humanos y en pruebas con animales y puede incluir datos obtenidos en una prueba general de toxicidad, por ejemplo, los datos histopatológicos del sistema respiratorio. (IUPAC, 1993), (Acosta, 2008).

Sustancias corrosivas: Sustancias que en contacto con tejidos vivos, pueden ejercer una acción destructiva contra ellos. (Reglamento REACH 1907/2006)

Sustancias carcinogénicas: Según European Commission (1996), Acosta (2008), los estudios epidemiológicos han sido la principal fuente de información sobre los carcinógenos humanos potenciales y presentan la ventaja de estudiar la especie de principal interés, el ser humano, muchas veces presentan problemas porque la exposición está mal definida y porque hay variables de confusión que pueden distorsionar cualquier asociación estadística.

Según ACGIH (1997) estas se diferencian en varias categorías:

A1. Carcinogénicos confirmados en el ser humano: El agente carcinogénico en los humanos de acuerdo con el peso de la evidencia de los estudios epidemiológicos, o en la evidencia clínica convincente, en los humanos expuestos.

A2. Carcinogénicos con sospecha de serlo en el humano: El agente carcinogénico en los animales de experimentación a dosis relativamente elevadas, puntos de tipo histológico o por mecanismos que no se consideran importantes en la exposición de los trabajadores. Los estudios epidemiológicos disponibles son conflictivos o insuficientes para confirmar un aumento del riesgo en los humanos expuestos.

A3. Carcinogénicos en los animales: El agente carcinogénico en los animales de experimentación a dosis relativamente elevadas, puntos de tipo histológico o por mecanismos que no se consideran importantes en la exposición de los trabajadores. Los estudios epidemiológicos disponibles no confirman un incremento del riesgo del cáncer en los humanos expuestos.

A4. No clasificados como carcinogénicos en humanos: No hay datos adecuados para clasificar el agente en relación con su carcinogenicidad en los humanos y/o animales.

A5. No sospecho como carcinogénico en humano: El agente no es sospechoso de ser carcinogénico en humano basándose en los estudios epidemiológicos realizados adecuadamente en estos. De estos estudios se disponen de suficientes historias fiables de seguimiento de la exposición durante largo tiempo, dosis suficientemente elevadas y de la potencia estadística adecuada para concluir que la exposición al agente no conlleva un riesgo significativo de cáncer para el humano.

Sustancias mutagénicas: Sustancias y preparados que por inhalación, ingestión o penetración cutánea pueden producir alteraciones genéticas hereditarias o pueden aumentar su frecuencia. (Sección Sindical del Sindicato, 2003)

Se clasifican en 3 categorías:

Primera categoría: sustancias y preparados que se sabe ciertamente que son mutagénicos para la especie humana, ya que se dispone de pruebas suficientes a partir de estudios epidemiológicos que demuestran una relación de causa/efecto entre la exposición de seres humanos a ellos y la aparición de alteraciones genéticas hereditarias.

Segunda categoría: sustancias y preparadas que pueden considerarse como mutagénicos para la especie humana, ya que se dispone de suficientes elementos de juicio para suponer que la exposición de seres humanos a los mismos puede producir alteraciones genéticas hereditarias, basados generalmente en estudios apropiados en animales y otras informaciones válidas.

Tercera categoría: sustancias y preparados cuyos posibles efectos mutagénicos en la especie humana son preocupantes, siendo insuficientes las investigaciones

Sustancias tóxicas para la reproducción: Sustancias y preparados que por inhalación, ingestión o penetración cutánea pueden producir efectos negativos no hereditarios en la descendencia, o aumentar la frecuencia de éstos, o afectar de forma negativa a la función o capacidad reproductora masculina o femenina

Según Faustman & Omen (1996), Acosta (2008) las sustancias tóxicas para la reproducción incluye la deficiencia de las funciones o capacidad de reproducción masculina y femenina así como la inducción de efectos dañinos no hereditarios a la progenie.

Se clasifican en tres categorías (NTP 542, 1995):

Primera categoría: sustancias y preparados de los que se sabe ciertamente, a partir de datos epidemiológicos, que perjudican la fertilidad de los seres humanos, (efectos negativos sobre la libido, comportamiento sexual, espermatogénesis u ovogénesis, actividad hormonal o respuesta fisiológica que puedan interferir la capacidad de fertilizar, la misma fertilización, el desarrollo del huevo fecundado hasta la fase de implantación, incluyendo ésta misma), puesto que se dispone de suficientes pruebas para establecer

una relación entre exposición y problemas de fertilidad, y también aquellos de los que se sabe ciertamente, a través de datos epidemiológicos, que producen toxicidad para el desarrollo de seres humanos, es decir cualquier efecto que interfiera el desarrollo normal tanto antes como después del nacimiento, (incluye efectos embriotóxicos/fetotóxicos y teratogénicos, entre otros), ya que existen suficientes pruebas para establecer una relación entre la exposición y la posterior aparición de efectos tóxicos para el desarrollo de la descendencia.

Segunda categoría: sustancias y preparados que pueden considerarse como perjudiciales para la fertilidad de los seres humanos y aquellos que pueden considerarse como tóxicos para el desarrollo de los seres humanos, ya que se dispone de datos suficientes para suponerlo firmemente para la exposición de seres humanos a partir de investigaciones con animales sin que se trate de consecuencias secundarias inespecíficas de otros efectos tóxicos en caso de que los hubiere.

Tercera categoría: sustancias y preparados preocupantes para las fertilidades humanas y preocupantes para los seres humanos por sus posibles efectos tóxicos para el desarrollo, ya que se poseen datos para ello con experimentación con animales pero no son suficientes para su clasificación en la segunda categoría.

Sustancias sensibilizadoras: Sustancias que por inhalación o penetración cutánea, pueden ocasionar una reacción de hipersensibilización, de forma que una exposición posterior dé lugar a efectos negativos característicos.

La sensibilización comprende dos fases: en la primera exposición se desarrolla el proceso de sensibilización como respuesta al primer contacto con el agente alérgeno. La segunda es el desencadenamiento, es decir, la producción de una respuesta alérgica tras la exposición al alérgeno del individuo previamente sensibilizado. La sensibilización se produce en la mayoría de los casos mediante un mecanismo inmunológico. Las reacciones alérgicas pueden llegar a ser muy graves. Sus manifestaciones más comunes, dependiendo de la vía de exposición, son: rinitis, asma, alveolitis, bronquitis, eczema de contacto, urticaria de contacto y blefaroconjuntivitis.

De acuerdo con autores como Klaassen (1996), Acosta (2008) este término se aplica a los procesos de inmunización que hacen que los individuos se tornen hipersensibles a sustancias como el polen, la caspa o compuestos químicos que les hacen desarrollar una

alergia potencialmente dañina al estar expuestos a la sustancia sensibilizadora (alérgeno).

Sustancias de toxicidad por dosis repetidas: Según Reglamento REACH 1907/2006 esta incluye los efectos toxicológicos generales que se producen como resultado de la exposición diaria repetida a una sustancia durante un periodo de la vida (exposición subaguda o subcrónica) o durante la mayor parte de la vida (exposición crónica)

Estos efectos toxicológicos generales incluyen efectos en el peso corporal y/o aumento del peso corporal, pesos absolutos y/o relativos de órganos y tejidos, alteraciones en la química clínica, y en los parámetros del urinálisis y/o hematológicos, alteraciones funcionales del sistema nervioso, así como de órganos y tejidos en general, y alteraciones patológicas en órganos y tejidos, analizados tanto macroscópicamente como microscópicamente. Además de esta información sobre los posibles efectos toxicológicos generales adversos, los estudios de la toxicidad por dosis repetidas también pueden aportar otros datos sobre, por ejemplo, la toxicidad para la reproducción o la carcinogenicidad, o pueden identificar manifestaciones específicas de toxicidad, tales como neurotoxicidad, inmunotoxicidad, efectos endocrinos, entre otros.

El objetivo de una valoración de la toxicidad por dosis repetidas es evaluar:

1. si la exposición repetida de los seres humanos a una sustancia se ha asociado a efectos toxicológicos adversos; potencialmente, estos estudios en humanos también pueden identificar poblaciones con una mayor susceptibilidad;
2. si la administración repetida de una sustancia a animales de experimentación provoca efectos toxicológicos adversos; efectos que hacen prever posibles efectos adversos para la salud;
3. los órganos diana, los potenciales efectos acumulativos y la reversibilidad de los efectos toxicológicos adversos;
4. la relación dosis-efecto y el umbral para cualquiera de los efectos toxicológicos adversos observados en los estudios de la toxicidad por dosis repetidas.

En este epígrafe se conocieron la clasificación que se les da a las sustancias peligrosas por su efectos sobre el organismo, entre estas pueden estar: las sustancias de toxicidad aguda, sustancias irritantes que pueden afectar los ojos, el sistema respiratorio y a la piel, sustancias carcinogénicas que posee 5 categorías

según ACGIH (1997), en cambio las mutagénicas y las sustancias tóxicas para la reproducción se clasifican en solo 3 categorías.

1.4 Gestión de la prevención de los riesgos químicos.

Con el creciente uso de las sustancias peligrosas tanto a nivel industrial como doméstico se ha intensificado el peligro a que pueden estar las personas que laboran con estas sustancias, de ahí a que se debe crear un plan de prevención en caso de riesgos químicos como el que se muestra a continuación:

La prevención del riesgo químico se realiza en cuatro etapas (PNUMA/IPCS, 1999).

- 1. Identificación del peligro.** ¿Cuáles son las sustancias que interesa evaluar y cuáles sus efectos adversos?
- 2. Relación entre dosis (concentración)- respuesta (efecto).** ¿Cuál es la relación entre la dosis y la gravedad o frecuencia del efecto (relaciones entre dosis – efecto y dosis respuesta respectivamente)?
- 3. Evaluación de la exposición.** ¿Cuál es la intensidad y duración o frecuencia de la exposición de un agente?
- 4. Caracterización del riesgo.** ¿Cómo se puede cuantificar el riesgo a partir de los datos anteriores?

En la actualidad no se dispone de información rigurosa sobre la morbilidad atribuible a los productos químicos. Esta información no se recoge de forma integrada y exhaustiva, entre otras razones por la dificultad de relacionar enfermedades o síntomas con la exposición a numerosos factores medioambientales y por la dificultad de cuantificar el efecto simultáneo de los estilos de vida (tabaco, alcohol, alimentación). (Covello & Merkhofer, 1993).

Con toda la información disponible se puede valorar de forma más objetiva el impacto sanitario del riesgo químico. Sin embargo, este enfoque basado exclusivamente en indicadores de mortalidad y/o morbilidad no es suficiente. Las autoridades sanitarias deben desarrollar, y sobre todo aplicar, otros enfoques para evaluar los riesgos para la salud. Actualmente el más apropiado es el conocido como evaluación del riesgo que de forma resumida se fundamenta en Casal (*et. al*, 2001)

- Recogida y análisis de datos sobre peligrosidad y toxicidad de los agentes químicos.

- Estimación de dosis - respuesta.
- Evaluación de la exposición
- Identificación de biomarcadores
- Caracterización del riesgo

Esta política sanitaria debería estar reflejada en una estrategia clara y pública de reducción del riesgo que pueda ser sometida a discusión, modificación y valoración por la sociedad. Cuando hay que tomar decisiones sobre el control (limitación o prohibición) de un agente químico sospechoso se recurre a las evidencias científicas. La epidemiología ambiental (ocupacional) además de evaluar la consistencia de las asociaciones observadas en los estudios epidemiológicos tiene que tener en cuenta otros aspectos relacionados con los hallazgos clínicos y toxicológicos, y lo que es muy importante: las consecuencias económicas y sociales que las medidas de control implican.

En el mundo con el avance de la tecnología aumenta el nivel de riesgo y peligro, por ello, el correcto uso de las herramientas de gestión conduce a la optimización de los servicios evitándose tanto las pérdidas de vidas humanas como material. La autora de esta tesis está de acuerdo con lo que plantea el (PNUMA/IPCS, 1999) cuando se refiere que para prevenir el riesgo químico deben realizarse 4 etapas inviolables.

- 1- Identificación del peligro
- 2- Relación entre dosis (concentración)- respuesta (efecto).
- 3- Evaluación de la exposición.
- 4- Caracterización del riesgo.

1.5 La dispersión de contaminantes químicos en la atmósfera.

En la industria química un gran número de accidentes se producen por la pérdida de contención en depósitos y tuberías que almacenan y transportan productos en forma gaseosa o líquida. En la mayoría de los casos estas sustancias son peligrosas para la salud y el medio ambiente. Cuando las sustancias son susceptibles de formar nubes de gas conocer su evolución es importante. (Casal *et. al*, 2001)

Según Casal (*et. al*, 2001), el término dispersión es utilizado en la modelización de accidentes para describir la evolución de una nube de gas tóxica o inflamable en la atmósfera. La dispersión de una nube de gas sigue una difusión, o transporte de su

masa, producida por el movimiento molecular del aire mientras se va diluyendo a medida que va disminuyendo su concentración, a causa de la entrada de nuevas moléculas de aire dentro de la nube. La dispersión incluye el desplazamiento de la masa en la dirección del viento y su expansión en sentido transversal al viento, tanto vertical como horizontal. En el caso de gases pesados la dispersión se produce incluso en dirección contraria al viento.

Las distintas variables meteorológicas afectan en mayor o menor grado la dispersión atmosférica de contaminantes. Así pues, la velocidad y la dirección del viento, junto con la estabilidad atmosférica, condicionan especialmente la dispersión de nubes de gas; la humedad y la temperatura tienen efectos menores, mientras que la inversión térmica influye en casos concretos. (Casal, *et. al*, 2001) Todas las variables meteorológicas presentan una gran variabilidad estacional y diaria. Para posibilitar la modelización de la dispersión de manera representativa, se suelen tomar valores medios específicos del área de estudio. A continuación se describen las variables meteorológicas principales que afectan a la dispersión de nubes contaminantes:

- **El viento:** El viento tiene un efecto de arrastre que provoca la dispersión de nubes por desplazamiento de la masa de gas. El viento influye también en la estabilidad atmosférica, que es el otro factor principal para determinar la dispersión de gases.

La información sobre el viento de una determinada zona geográfica se reúne en la denominada “rosa de los vientos”. La rosa de los vientos es una representación gráfica de la frecuencia de los vientos según su dirección y velocidad. Las direcciones se suelen dar en 8 o 16 sectores de 45° o 22,5° respectivamente, denominados según las direcciones cardinales N, NE, E, SE, S, etc. o bien N, NNE, NE, ENE, E, etc. Estas direcciones indican de dónde procede el viento y otros datos respecto al viento se suelen dar tabulados. (Casal, *et. al*, 2001).

En general, la velocidad del viento registrada por los servicios meteorológicos se refiere a una altura de 10 m. Éste es el valor que suele utilizarse en los modelos de dispersión. La utilización de este valor se basa en el hecho de que los escapes accidentales de gases susceptibles de formar nubes tóxicas o inflamables se producen al nivel del

suelo; por tanto, para la modelización de accidentes se necesitan datos relativos a la situación cerca del suelo. (Casal, *et. al*, 2001)

- **Estabilidad atmosférica:** La estabilidad atmosférica es una variable que se establece para caracterizar la capacidad que la atmósfera tiene para dispersar un contaminante; en realidad, lo que representa es el grado de turbulencia existente en un momento determinado. Se ha establecido una clasificación en categorías (denominadas a menudo “categorías de Pasquill”). El tipo de estabilidad atmosférica es, pues, una estimación del estado de la atmósfera, que no se puede medir directamente como la temperatura, la presión, la velocidad del viento, etc. La estabilidad se estima en función de la velocidad del viento y la radiación solar. (Casal, *et. al*, 2001)
- **Temperatura y la humedad relativa:** La temperatura y la humedad relativa (básicamente consecuencia de la estación del año), el nivel de insolación y el viento tienen efectos menores sobre la dispersión atmosférica de un gas neutro y, en cambio, tienen un efecto significativo en la dispersión de gases pesados. La humedad y la temperatura se utilizan para el cálculo de la velocidad de evaporación de un líquido y se utilizarán en las ecuaciones de dispersión de gases pesados. (Casal, *et. al*, 2001)
- **La inversión térmica:** La inversión térmica se caracteriza por un aumento anómalo de temperatura en las capas altas atmosféricas; es decir, a cierta altura (en general, alrededor de 100 m) la temperatura es superior a la de las capas de aire de cotas más bajas. Desde el punto de vista de la dispersión de gases, este es un efecto muy importante ya que impide la dispersión en altura y provoca su reflexión hacia las capas bajas atmosféricas. (Casal, *et. al*, 2001)

Con el fin de determinar en caso de un escape de sustancias tóxicas el peligro que representaría la dispersión de estas a la atmósfera se debe conocer la influencia de las variables meteorológicas sobre la zona objeto de estudio, donde la velocidad, la estabilidad atmosférica y la dirección del viento son los que condicionan la dispersión de nubes de gas, mientras que la humedad y la temperatura juegan un papel menos importante.

1.6 Modelos de dispersión.

Según Casal (*et. al*, 2001), los modelos de dispersión son modelos matemáticos (conjuntos de ecuaciones) que permiten prever, dadas unas condiciones iniciales (básicamente el escenario accidental y las condiciones meteorológicas) y según las características físicas y químicas del producto, la evolución de una nube contaminante en función de la posición y del tiempo.

Un primer paso para el cálculo de la dispersión consiste en establecer las condiciones de escape de producto, especialmente su duración en el tiempo.

Según el tiempo de escape de producto las emisiones pueden clasificarse en:

- Emisión instantánea: cuando el tiempo necesario para que la nube llegue a un punto determinado es mayor que el tiempo de descarga del producto. Un ejemplo puede ser la explosión de un recipiente que contiene gas a presión.
- Emisión continua: cuando el tiempo de emisión es mayor que el tiempo necesario para que la nube alcance un determinado punto. Un ejemplo sería el penacho de una chimenea. (Casal, *et. al*, 2001)

Los modelos que habitualmente se utilizan para la estimación de la dispersión de gases que proceden de accidentes químicos se clasifican en dos grandes grupos:

- Modelos Gaussiano para gases neutros: Los modelos para gases neutros o gaussiano se utilizan para describir la dispersión de nubes de gases con una densidad similar a la del aire, ya sea porque la masa molecular del contaminante es similar a la del aire, o bien porque está suficientemente diluido en el momento del escape. Este último caso es el más frecuente en los contaminantes presentes en las humas de combustión (SO₂, NO₂, etc.)

Los modelos para gases neutros se basan en las siguientes hipótesis, simplificativas:

- Origen puntual del escape.
- Velocidad de salida del producto inferior a 20.40 ms-t. Velocidades mayores condicionan el movimiento de la nube.
- Falta de efectos gravitatorios sobre el producto.
- Falta de reactividad del producto con el aire.

- Condiciones meteorológicas constantes en toda el área afectada por el escape.
- Existencia de viento ($U > 1 \text{ ms}^{-1}$)
- Características uniformes del terreno (rugosidad) en toda el área afectada.
- Ausencia de obstáculos (montañas, entre otros) y terreno sin pendiente.

Los modelos suponen que la nube se extiende transportada por el viento y se diluye según el modelo de la campana de Gauss en función de la distancia hasta el punto de escape (emisión instantánea) o hasta el eje de la nube (emisión continua). (Casal, *et. al*, 2001)

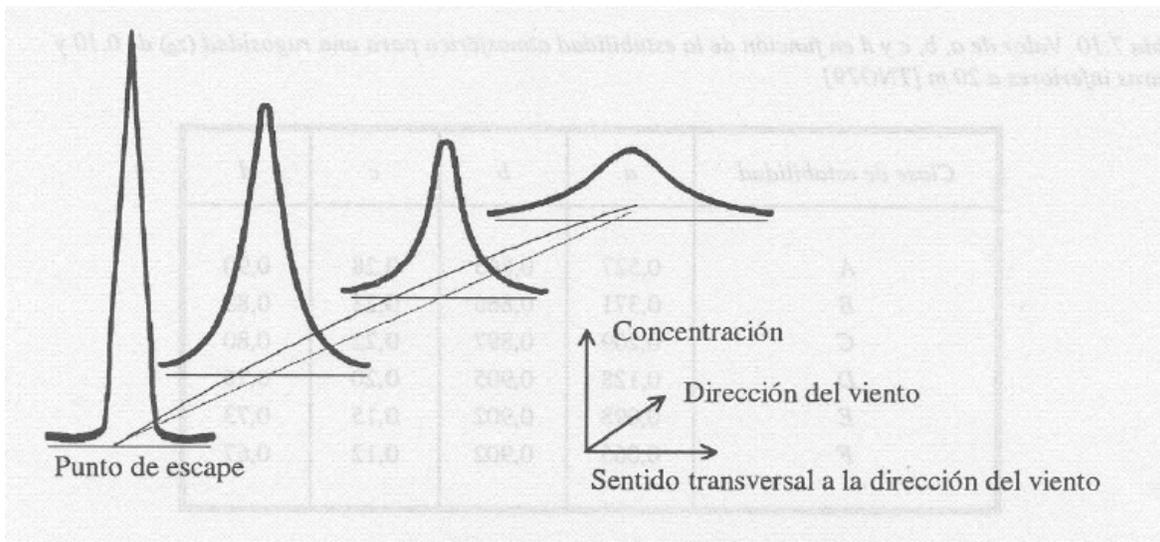


Fig. 1.1 Dispersión en forma de campana de Gauss.

(Fuente: Casal, *et. al*, 2001)

- Modelos para gases pesados: La dispersión atmosférica de un producto tóxico o inflamable, principalmente en los primeros momentos, puede estar influida por la densidad del vapor o del gas que se escapa. Una masa de gas experimenta las mismas fuerzas de impulso que determinan que un globo ascienda o que el aire frío se acumule en las capas bajas atmosféricas. Por la misma razón, los vapores y los gases con densidades superiores a la del aire tienen tendencia a caer y dispersarse a ras de suelo mientras la nube no alcance, mediante su dilución con el aire, densidades cercanas al mismo. De la misma manera, estos vapores tienen tendencia a acumularse en las zonas bajas (valles, hondonadas, drenajes,

fosas, cubetas, entre otros), con el riesgo de intoxicación o explosión posterior a los escapes de gases. (Casal, *et. al*, 2001)

Según Casal (*et. al*, 2001) los parámetros que determinan que una sustancia en fase vapor se comporte como un gas pesado son:

- La masa molecular.
- La temperatura.
- Los aerosoles.
- Las reacciones químicas.

En conclusión, si la masa de vapor o gas que se dispersa cumple cualquiera de los aspectos comentados, desde el punto de vista macroscópico tiene una densidad superior a la del aire. Esto determina que su movimiento sea de descenso hacia el suelo y posteriormente se extienda lateralmente (aplastamiento), dispersándose. Esta evolución de la nube se puede dividir en tres etapas diferenciadas. Las etapas de dispersión son claramente identificables cuando se trata de un escape instantáneo: (Casal, *et. al*, 2001)

- Fase de flotabilidad: La nube formada (generalmente asimilada a un cilindro) cae por efecto de la gravedad y se extiende en todas direcciones mientras se reduce su altura. El tiempo de duración de este fenómeno es de sólo algunos segundos.
- Fase de dispersión estable y estratificada: La nube se dispersa a causa del efecto del viento que, como consecuencia de su alta densidad, forma un flujo estratificado (adherido al suelo) que reduce la entrada de aire y la dilución de la nube. Las ecuaciones empíricas que modelizan el comportamiento fluidodinámico del gas en esta fase y en la de la entrada de aire son de una gran complejidad.
- Fase de dispersión pasiva, neutra o gaussiana: La nube en su dispersión llega a alcanzar una densidad y una temperatura similares a las del aire de su alrededor. Las ecuaciones que se presentaban en la dispersión de gases neutros deben ser, sin embargo, corregidas convenientemente al objeto de tener en cuenta las dimensiones de la nube en el estado presente, inicial ahora para la dispersión gaussiana.

En el epígrafe se muestra los modelos que se utilizan para la estimación de la dispersión de los gases, que estos se clasifican en: modelo gaussiano para gases neutros que suponen que la nube se extiende transportada por el viento y modelo para gases pesados donde puede estar influenciado por la densidad del vapor o del gas que se escapa.

1.7 Conclusiones parciales del capítulo.

1. Se definieron que son los accidentes, peligros, daños, nivel de seguridad, mitigación, desastres, así como las diferentes situaciones de emergencia, entre otros.
2. Se dio a conocer cuál es la metodología a seguir en la gestión de la prevención de los riesgos químicos.
3. Se supo que las sustancias por sus efectos sobre el organismo se pueden clasificar en: sustancias de toxicidad aguda, irritantes, corrosivas, carcinogénicas, mutagénicas, tóxicas para la reproducción, sensibilizadoras y sustancias de toxicidad por dosis repetidas.
4. Se conoció que en la dispersión de los contaminantes químicos en la atmósfera los parámetros que más influyen son: la velocidad del viento, la temperatura, la humedad relativa y la estabilidad atmosférica.
5. Se identificaron los modelos para la estimación de la dispersión de gases que proceden de accidentes químicos, estos se clasifican en dos grandes grupos: Modelos para gases pesados o Modelo Gaussiano para gases neutros.

Capítulo II. Materiales y métodos.

En este capítulo se realiza una descripción del proceso que se desarrollará como caso de estudio, una caracterización de las sustancias involucradas en el proceso, además de una explicación de la metodología a emplear y una caracterización del software ALOHA.

2.1 Descripción del proceso.

El proceso comienza con la entrada del gas crudo o sucio proveniente de los centros colectores hacia la planta de gas Energas S.A Varadero con un flujo aproximado de 37500 m³/h, a una presión máxima de 253.3 kPa y a una temperatura aproximada a la ambiente.

- Sistema de Entrada.

Este gas crudo entra a un separador (INLET- entrada), el cual tiene como objetivo principal eliminar los arrastres de hidrocarburos líquidos y materias sólidas que pueda contener el gas de entrada (piedras, óxido, entre otros), en caso de un bloqueo o una parada de emergencia, una válvula de control, desvía todo el gas de la entrada al *Flare*. El gas desde el separador de entrada va al Filtro Coaleser de Entrada, para quitar cualquier rastro final de líquidos y sólidos del gas.

- Unidad de Compresión.

El gas que sale del separador va hacia los compresores cuyo objetivo principal es comprimir el gas con el fin de que se obtengan los parámetros de trabajo en las unidades de tratamiento, o sea, una presión de 3040 kPa y una temperatura de 40°C. Para comprimir el gas la planta cuenta con 4 compresores reciprocantes: 1 mecánico y 3 eléctricos. Si la presión final de la descarga excede las 4560 kPa, una válvula de escape desvía toda la descarga al *Flare*.

- Unidad de Endulzamiento.

La Unidad de Endulzamiento tiene como principales objetivos:

1. Extraer el $H_2S(g)$ de la corriente de gas hasta reducir su contenido.
2. Producir una corriente de gas ácido con la máxima concentración de $H_2S(g)$ y mínimas impurezas para alimentar la unidad de recuperación de azufre y obtener un azufre de alta calidad.

3. Mantener la solución de amina en óptimas condiciones de pureza para evitar problemas operacionales, de corrosión y costo de operación.

Esta unidad usa la amina MDEA, metildietanolamina (50 % de fortaleza o lo que es lo mismo 50% de concentración por ciento en masa, para lograr esto se mezcla la amina con agua desmineralizada, o sea, agua tratada).

El gas crudo, o sea, el gas que posee ácido sulfhídrico y dióxido de carbono entra a la unidad de endulzamiento a una razón de 20000 m³/h, con una presión de 3187 kPa y a una temperatura de 50 °C. La unidad realiza la separación del sulfuro de hidrógeno que trae consigo este gas para la obtención de dos corrientes: una de gas dulce, libre de sulfuro de hidrógeno, que se pueda utilizar como combustible y una corriente de sulfuro de hidrógeno que se pueda utilizar como materia prima fundamental en la obtención del azufre.

Para despojar del gas el ácido sulfhídrico y dióxido de carbono que trae en grandes concentraciones, se usa la amina MDEA como sustancia absorbente, la cual se pone en contacto con el gas en un proceso de transferencia de masa y absorbe el H₂S y el CO₂. De ahí se obtiene el gas dulce que es enviado a la unidad de Refrigeración, la mezcla de amina y el ácido sulfhídrico, llamada amina rica, va hacia la regeneradora de amina donde su función como su nombre lo indica es regenerar la amina para volverla a utilizar en la unidad, esto ocurre en la unidad despojadora a altas temperaturas (123 °C) y bajas presiones (50.66 kPa) donde se le retira a la amina el gas sulfhídrico y el CO₂(g), ya limpia (amina pobre) es recirculada en la unidad y el gas ácido, como se llama a la mezcla de H₂S(g) y CO₂(g) va hacia la unidad de Azufre donde se obtiene el azufre, y el vapor que se produce se utiliza en la unidad de Endulzamiento y en la unidad de Destilación por fraccionamiento.

- Unidad de Regeneración de Amina.

La amina rica en ácido sulfhídrico, pasa a un intercambiador de calor para aumentar su temperatura y de esa forma se favorece la destilación del H₂S (g).

En la columna de destilación, la solución de amina rica entra por el tope y por el fondo lo que se obtiene es la solución de amina pobre. En este equipo se ponen en contacto la amina rica en ácido sulfhídrico, previamente calentada, con los vapores de sulfuro de hidrógeno que salen del rehervidor debido a que esta solución, al llegar al fondo de la

columna, va al rehervidor y al calentarse se libera de la amina el sulfuro de hidrógeno en forma de vapor, seguidamente estos vapores comienzan a ascender por los platos de la columna poniéndose en contacto en contracorriente con la solución de amina rica. Las corrientes resultantes de la operación de la destilación son: solución de amina pobre o libre de $(\text{H}_2\text{S}_{(g)})$ y vapores de sulfuro de hidrógeno que van a la planta de azufre.

La amina pobre o amina libre de $(\text{H}_2\text{S}_{(g)})$ resultante de la operación de destilación se enfría intercambiando calor con la amina rica procedente de la columna de absorción. Posteriormente va a un tanque y de este pasa a un intercambiador de calor donde disminuye su temperatura utilizando agua como medio de enfriamiento y pasa a un mezclador para reajustar la concentración 50(% m/m) de amina y 50(% m/m) de agua para poder reincorporarla a la columna de absorción.

- Unidad de Refrigeración.

El gas dulce (rico en hidrocarburos C1-C7 en concentraciones aproximadas de 78% de metano, 12 % de propano y butano, 2% de etano y lo que resta de hexano, heptano y dióxido de carbono) proveniente de la unidad de Endulzamiento entra a la unidad de Refrigeración con el objetivo de separar el metano que se utiliza como combustible en las turbinas generadoras de electricidad, la mezcla agua – metanol y los hidrocarburos líquidos C_2+ que se utilizarán en la unidad de Fraccionamiento para la obtención de gas licuado y nafta.

El gas dulce con una presión de 3040 kPa y una temperatura de 64 °C se pone en contacto con una mezcla de agua y metanol (anticoagulante) a 0,851 m³/ h y -40°C, en una torre de contacto para evitar que los hidratos presentes en el gas se congelen y obstruyan la sección de paso por las tuberías. Seguidamente va a un intercambiador gas-gas donde el metano (sustancia refrigerante) pasa por la coraza y el gas entra por un haz de tubos a una temperatura de 42°C y una presión de 3040 kPa, se enfría aproximadamente hasta -6°C. Seguidamente entra al Chiller donde disminuye su temperatura hasta -37°C, para entrar a una válvula Joule-Thompson donde disminuye la presión de 3040 kPa hasta 2634 kPa y disminuye su temperatura hasta -41°C. Posteriormente va al LTS (*Low Temperature Separation*) que como su nombre lo indica es un separador a bajas temperaturas donde se separa por diferencia de peso el

metano gaseoso, los hidrocarburos líquidos llamados C_{2+} o C_2 plus (desde el C_2 - C_7) y el metanol con el agua, estos últimos caen en una bota donde es succionado por una bomba de recirculación que los re-inyecta a la torre de contacto, el metano gaseoso regresa al intercambiador gas-gas donde es recalentado a 30°C y se usa después como gas combustible para las turbinas, mientras que el C_{2+} que se extrae del LTS va a una unidad de destilación por fraccionamiento donde se obtiene gas licuado y nafta líquida.

- Ciclo Chiller para el propano.

El proceso empieza en un tanque de almacenamiento de propano líquido (bala) a 1216 kPa y aproximadamente 40°C , de ahí va a un economizador donde ocurre una caída de presión hasta 405,3 kPa, a una temperatura de 0°C y ocurre el pre-enfriamiento del propano el cual se vaporiza. Seguidamente pasa el propano gaseoso hacia un enfriador (CHILLER) y de ahí lo succiona un compresor a una presión de 30390 Pa y se mezcla con aceite de refrigeración (SPX-5000, cuya función es lubricar el compresor facilitando así el proceso de enfriamiento), esta mezcla líquida a 1013 kPa y 55°C entra a un separador, el cual separa el aceite líquido (que se vuelve a inyectar en los compresores) del propano que se vaporiza y pasa como gas a un condensador en un ambiente de más de 8°C y se recircula en el tanque de almacenamiento para utilizarlo como sustancia refrigerante.

- Unidad de Destilación por Fraccionamiento.

La unidad está compuesta por dos torres empacadas de 15.94 m de altura y 0.61 m de diámetro, la primera torre (de-etanizadora) en un torrente de alrededor de 1814 kg/h. Esta torre trabaja a una presión de 2100 kPa y una temperatura de fondo de $112,6^{\circ}\text{C}$ proporcionada por un rehervidor tipo kettle. En estas condiciones el elemento más volátil, el etano, es desprendido de la corriente y retornado al proceso debido a que su elevada presión de vapor dificultaría la obtención de subproductos con la calidad requerida. El etano extraído se alivia hacia el *flare* o se reinyecta al cabezal de succión de los compresores, con el propósito de recuperar esta corriente y de despojarlo de posibles trazas de metano que pueda arrastrar. En el fondo de la torre de-etanizadora se obtiene el C_{3+} (hidrocarburos contenidos en la fracción de tres a siete átomos de

carbono) que sale en forma líquida hacia la segunda torre como corriente de alimentación.

Esta segunda torre es una columna de-butanizadora de 12 etapas de equilibrio, la corriente de alimentación está en un rango de 1361- 1588kg/h. Posee un rehervidor tipo kettle el cual permite alcanzar una temperatura de fondo alrededor de 177 °C. La presión de operación de esta columna se debe mantener alrededor de 1500 kPa. La temperatura de tope se controla por medio del reflujo que se obtiene al enfriar los elementos ligeros (propano y butano) que salen por el tope en un condensador y almacenarlos luego en un tambor de reflujo desde el cual una bomba centrífuga lo reinyecta al tope en la medida en que lo exija la temperatura de tope prefijada (alrededor de 50 - 60 °C) y el nivel en el tambor. La razón de reflujo prefijada es 3. Cuando se satisfacen estas variables, el flujo de exceso (destilado) pasa a ser almacenado en sendas balas de almacenamiento de alta presión con 208 m³ de capacidad. Los productos más pesados caen al fondo de la torre, el rehervidor instalado en esta hace que ebullicen y sobrepasen una mampara instalada en este equipo y cuando el nivel sea adecuado son parcialmente enfriados y enviados a tanques atmosféricos de almacenamiento. Todo este sistema se controla a través de dispositivos automáticos de control.

- Unidad de Calderas y Turbinas.

El metano gaseoso que sale del intercambiador de calor pasa como combustible hacia las 3 turbinas GT's que pueden producir 39,6 MW cada una, acoplados a estas hay tres Generadores de Vapor por Recuperación de Calor (HRSG) que producen, igualmente por diseño, 90000 kg/h de vapor sobrecalentado cada una. Finalmente se incorpora una turbina de vapor (ST) que produce 81,95 MW.

A la turbina de vapor instalada llegan 270000 kg/h de vapor sobrecalentado a 519 °C y 8000 kPa de presión absoluta, proveniente de los tres HRSG. En la misma, el vapor se expande hasta 11.20 kPa y 48.1 °C. Los gases de escape de la Turbina de Vapor se condensan con 4295 kg/h de agua de mar a 35.5 °C la cual se calienta hasta 44 °C. La bomba de condensado lleva este hasta un tanque de deaeración cuyo propósito es eliminar los gases disueltos o arrastrados en el agua de alimentar la caldera, particularmente CO₂ y aire, este equipo opera a vacío (60 kPa). La deaeración se

realiza a expensas de una extracción en la etapa 15 de la turbina que sale a 203 kPa y 120.8 °C. A la salida del deaerador se encuentran tres bombas de agua de alimentación (70 °C y 11600 kPa) a los HRSG. El vapor sobrecalentado (90t/h) en los HRSG se produce a 522 °C y 8600 kPa, de la quema adicional de 2000 m³/h del gas combustible. Las pérdidas de presión desde los HRSG a la ST garantizan los parámetros de entrada en la misma. El gas rechazado en los Generadores de Vapor por Recuperación de Calor (149 °C) es enviado a la atmósfera. (Anexo #2)

2.2 Procedimiento para la caracterización climatológica de la zona objeto de estudio.

La caracterización climatológica de la zona objeto de estudio se realiza a partir del estudio del comportamiento de los diferentes elementos del clima, que son de interés para la investigación, para la década comprendida desde el año 2000 al 2009.

Los datos para la caracterización fueron aportados por Moya (2010) del Instituto de Meteorología de la provincia de Matanzas perteneciente al CITMA y Soriano (2010) del aeropuerto internacional Juan G. Gómez de Varadero.

Los elementos o variables tomados en cuenta para el estudio son:

- Nubosidad: Los valores que se toman para esta variable son los medios y estos oscilan entre 4 y 5, a excepción del mes de abril que es el menos nuboso con un valor de 3.
- Temperatura del aire: Para esta variable se tomó los valores máximos y mínimos y se halló la temperatura media. Esta temperatura media oscila entre 20 y 26, donde la temperatura más baja la reporta el mes de enero y la más alta corresponde a los meses de julio y agosto, siendo estos los más cálidos.
- Humedad relativa: En el caso de este elemento los valores medios oscilan entre 73, que corresponde al mes de abril siendo este el menos húmedo y 84 que pertenece a los meses de septiembre y octubre.
- Viento: Para esta variable las mayores velocidades medias las posee los rumbos ENE, E, NE y la menor se reporta en dirección W, siendo este de 9,9 km/h.

2.3 Procedimiento de identificación de las sustancias involucradas en el proceso.

Se realiza la caracterización de las sustancias involucradas en el proceso con el objetivo de que sea más fácil determinar las sustancias que involucren un mayor riesgo tanto para la salud como para el medio ambiente.

Según Orozco (2007), la caracterización de las sustancias involucradas en un proceso se desarrolla mediante la siguiente guía:

Identificación del producto.

- Nombre del producto.
- Fórmula Química.
- Etiquetado de peligro (frases R y S) así como las que la identifican por otros efectos.

Datos Físicos.

- Apariencia.
- Punto de ebullición.
- Punto de fusión.
- Solubilidad.
- Densidad.
- TLV - Límite superior de inflamabilidad.
- IPVS. Límite inferior de explosividad.
- Punto de congelación.
- Temperatura de autoignición
- Coeficiente de expansión
- Temperatura de inflamación
- Biodegradabilidad
- Corrosión
- Capacidad calorífica

Formas de control y mitigación en casos de desastres

Productos o técnicas empleados en el control y mitigación en caso de desastre. Existencia del producto de control y mitigación en la entidad (especificar cantidad y capacidad de mitigación)

Peligros para la salud

- Concentración permisible
- Exposición permisible
- Emergencias
- Partes del cuerpo que afecta
- Forma de entrada al organismo
- Toxicidad (se debe llenar una tabla con la siguiente información)

Tabla 2.1 Modelo para la clasificación toxicológica de la sustancia analizada.

Sustancia	Toxicidad						
	Toxicidad aguda	Irritación	Sensibilización	Toxicidad por dosis repetida	Mutagenicidad	Carcinogenicidad	Corrosión

(Fuente: Orozco, 2007)

Condiciones de almacenamiento y manipulación

- Nombre del producto almacenado.
- Forma del recipiente (cilíndrico, rectangular, vertical, horizontal).
- Dimensiones del recipiente (largo, ancho, diámetro).
- Material de construcción.
- Protección del recipiente (interior o exterior).
- Existencia de accesorios en el recipiente y su localización.
- Fecha de fabricación del recipiente.
- Condiciones de almacenamiento de las sustancia.
- Cantidad de sustancia almacenada.
- Registro histórico de averías producidas en el recipiente. Casos de derrames.
- salideros, entre otros (definir fecha y cantidad de producto vertido).
- Tipo de averías producidas.
- Condiciones de almacenamiento (presión, temperatura, entre otros).
- Características de los alrededores del recipiente.

Condiciones para su uso en el proceso.

- Uso en el proceso.
- Condiciones en las que se usa la sustancia (presión, temperatura).
- Fallos ocurridos en estos equipos al operar con estas sustancias.
- Material de construcción de los equipos donde es usada.
- Longitud de tubería que conduce la sustancia desde el punto de almacenamiento hasta el equipo donde es usada.
- Diámetro de la tubería.
- Cantidad de accesorios y tipos en esa tubería (señalar que posición ocupa cada accesorio en la tubería o sea a qué distancia están ubicados con respecto al tubo de almacenamiento).
- Protección del sistema de tuberías.

En el Anexo #3 se aprecia la caracterización de las sustancias moduladas y en el Anexo # 4 se muestra el significado de las frases de peligros R y S.

2.4 Caracterización del software ALOHA.

El programa que utilizaremos es el ALOHA, cuyas siglas significan *Areal Locations of Hazardous Atmospheres* de la EPA, EEUU. Este programa computarizado está diseñado específicamente para el uso de personas que responden a accidentes químicos, así como la planificación y entrenamiento de emergencia. El *software* ALOHA puede predecir las tasas a las cuales los vapores químicos pueden escapar a la atmosfera desde tuberías en mal estado, fugas de tanques y charcos en evaporación. Entonces puede predecir cómo una nube de gas peligrosa podría dispersarse en la atmósfera después de una descarga química accidental.

La versión que se utiliza es la 5.4.1 de febrero del 2007, lo que constituye un *software* muy actualizado para este tipo de evaluación.

2.4.1 Aspectos generales de la modelación con ALOHA.

El *software* se basa en los modelos de dispersión del aire para estimar el movimiento y dispersión de la nube de gas químico, se estima la dispersión de gas tóxica, valores de sobrepresión desde la explosión de una nube de vapor y el área inflamable de la nube de vapor, además modela las áreas para emisiones de corta duración de compuestos

peligrosos claves: tóxicos, inflamables, radiación térmica y sobrepresión que pueden exceder los niveles de interés especificados por el usuario (*Levels of Concern*, por sus siglas en inglés LOC), los resultados son representados en diagramas Y vs. X donde nos indica la amplitud del área de localización en eje Y y su alcance en el eje x (*Threat zone plot*).

Este *software* constituye una herramienta para la planificación, los propósitos académicos y las respuestas de emergencia. No puede ser usado para emisiones de sustancias radioactivas, licencias ambientales de chimeneas de gases y emisiones fugitivas.

En el *software* ALOHA se utilizan tres categorías peligrosas:

- Dispersión de gas tóxico: Es un término usado por los especialistas que incluye la advección y la difusión. Una nube de gas dispersándose se moverá por advección en la dirección del viento y por difusión en viento cruzado en la dirección vertical del viento. Utiliza dos modelos: el Modelo Gaussiano para los gases que tienen la misma densidad que el aire y el Modelo de Gases Pesados utilizado para los gases que son más pesados que el aire donde son emitidos.

Algunos de los términos usados son:

- Gas pesado: Gases con peso molecular superior al peso molecular del aire.
- También gases que son más ligeros que el aire, almacenados a bajas temperaturas (estado criogénico).
- *Flash boiling*: Vaporización brusca de un líquido causada por baja presión.
- *Two-Phase flow*: Cuando las fases líquida y gaseosa de un compuesto químico escapan juntas por la ruptura de un tanque.
- Fuegos y Explosiones:

Las propiedades que condicionan un fuego son:

- Volatilidad: Medida de como un compuesto químico fácilmente se evapora
- Punto o temperatura de inflamación (*Flash Point*): Es la más baja temperatura donde un líquido inflamable evapora lo suficiente para alcanzar un fuego sin la fuente de ignición presente.
- Límites de Inflamabilidad. Llamado Límite de Inflamabilidad Inferior (LEL) y Límite de Inflamabilidad Superior (UEL).

- Si el compuesto químico en fase vapor se pone en contacto con la fuente de ignición, solo se producirá el fuego si la relación aire-combustible está entre LEL y UEL. Compuestos con alta volatilidad y bajo temperatura de inflamación tienen bajos valores de LEL. Se conoce lo que se llama Triángulo de fuego: Combustible, oxígeno y calor. Si uno de estos componentes se elimina el fuego cesa. ALOHA no modela subproductos del fuego: Hollín, humo, ceniza y compuestos químicos de la reacción.

Los niveles de radiación térmica se indican a través del LOC. El LOC es un nivel que marca el inicio de la radiación térmica, usualmente el nivel sobre el cual este peligro puede ocurrir. Se utilizan tres valores de LOC, medidos en Kw/m²:

- Rojo: 10 Kw /m² Potencialmente letal en el intervalo de 60 segundos.
- Naranja: 5 Kw /m² quemaduras de segundo grado en el intervalo de 60 segundos.
- Amarillo: 2 Kw /m² (dolor en 60 segundos).

Los niveles de sobrepresión están dados por el nivel de presión de la onda de explosión sobre el cual el peligro puede existir, que son:

- Rojo: 8 psi (destrucción de edificios)
- Naranja : 3,5 psi (serios daños)
- Amarillo: 1 psi (destrozos de cristales)
- ALOHA no modela los fragmentos peligrosos de una explosión.

Este programa modela además cinco tipos de escenarios de fuego y explosiones asociados con emisiones de compuestos químicos, los cuales son:

- Chorros de fuego
- Piscinas de fuego
- *BLEVE*: Explosión de vapor por la expansión de un líquido en ebullición.
- Áreas inflamables.
- Explosión de una nube de vapor.

2.5 Metodología para la utilización del software ALOHA.

El ALOHA es un programa de ejecución rápida y puede usarse fácilmente de modo que se puede operar durante situaciones de alta presión. Consta de varios pasos básicos:

1. Indicar la ciudad donde está ocurriendo una descarga accidental, fecha y hora del accidente.
2. Elegir el producto químico de preocupación de la biblioteca de información química en ALOHA.
3. Introducir información sobre las condiciones meteorológicas actuales.
4. Describir en qué forma el producto químico escapa del lugar que esta contenido.
5. Pedir al *software* ALOHA que presente una huella, en la que se muestre la zona donde las concentraciones químicas en el aire pueden llegar a ser lo suficientemente altas como para presentar un riesgo para las personas.

Este programa además de los gráficos que aporta puede brindar información acerca del sitio, datos de producto químico, datos atmosféricos, zona tratada, etc. También muestra las clases de estabilidad ordenadas en A, B, C, D, E, F, correspondiendo con extremadamente inestable, moderadamente inestable, neutro, moderadamente estable, estable, muy estable. Los diferentes LOC, utilizados por el programa son:

AEGL: Las siglas representan los niveles de LOC para una exposición aguda, de ahí la sigla *Acute Exposure Guideline Levels*, son los lineamientos de los niveles de una exposición aguda.

ERPG: Las siglas, se utilizan para la planificación de los planes de emergencia, de ahí *Emergency Response Planning Guidelines*.

ERPG-1: La concentración máxima dispersada bajo la cual es posible creer que los individuos que estén expuestos durante 1 hora pueden sufrir efectos moderados sobre su salud y percibir claramente un olor desagradable.

ERPG 2: La concentración máxima dispersada bajo la cual es posible creer que los individuos que estén expuestos durante 1 hora pueden experimentar o desarrollar daños irreversibles u otros daños serios para la salud o síntomas que le impiden la habilidad individual para realizar una acción de protección.

ERPG 3: Es la concentración máxima dispersada bajo la cual es posible creer que los individuos que estén expuestos durante 1 hora sufrirán efectos sobre la salud y puede correr peligro su vida.

TEEL: Las siglas se utilizan cuando no se conocen exactamente los valores de ERPG para un compuesto químico, ya que representa los niveles temporales, *Temporal Emergency Exposure Levels*.

TEEL-1: Es la concentración en el aire bajo la cual se considera que los individuos expuestos pueden sufrir efectos moderados sobre su salud y percibir claramente un olor desagradable.

TEEL-2: Es la concentración en el aire bajo la cual se considera que los individuos expuestos pueden sufrir efectos irreversibles sobre su salud o síntomas que les impida tomar decisiones para protegerse.

TEEL-3: Es la concentración en el aire bajo la cual se considera que los individuos expuestos a ella se encuentran en condiciones de riesgo para su vida.

IDLH: Las siglas están relacionadas con los niveles permisibles de exposición del hombre a compuestos químicos en zonas de trabajo sin afectar la salud y la vida, de ahí las siglas *Inmediatly Dangerous to Life or Health*. No está designado para ser tomado como un límite de exposición a toda la población ya que no está definido en correspondencia con la sensibilidad de algunas personas como los niños. No deben usarse los valores del IDLH para identificar definitivamente condiciones peligrosas en términos generales.

LEL: El límite inferior de Explosividad (LEL) también llamado el límite más bajo de inflamabilidad, es la concentración mínima de combustible en el aire necesitado para un fuego o una explosión, para ocurrir debe haber una fuente de ignición presente. Si la concentración es baja indica que no hay suficiente combustible en el aire para sostener un fuego o una explosión. El LEL está determinado experimentalmente utilizando presión y temperatura estándares. Además, si la concentración de combustible en el aire supera el Límite Superior de explosividad (UEL) entonces no habrá ni fuego ni explosión.

Capítulo 3. Análisis de los resultados.

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos después de haber utilizado el *software* ALOHA, el cual analiza la influencia de las variables meteorológicas en la dispersión de los contaminantes y los posibles accidentes que se generan por las diferentes sustancias peligrosas, además indica en qué dirección del viento se puede mover la nube tóxica o inflamable y las repercusiones del área de una explosión.

3.1 Resultados de la caracterización del clima de la zona objeto de estudio.

En diferentes zonas el clima se manifiesta diferente ya sea: por la zona tropical, situación geográfica o incluso el relieve del lugar. Todas las variables meteorológicas presentan una gran variabilidad estacional y diaria. Para posibilitar la modelización de la dispersión de manera representativa, se suelen tomar valores medios específicos del área de estudio. A continuación se describen las variables meteorológicas principales que afectan a la dispersión de nubes contaminantes:

- **Nubosidad.**

En la figura que se muestra a continuación se aprecia la nubosidad modulada en Microsoft Excel de los 12 meses del año , donde los meses con mayor nubosidad son junio, julio, agosto, septiembre y noviembre, mientras que el de menor nubosidad es abril.

En el anexo #5, tabla 5a se puede apreciar con más detalle el comportamiento de esta variable, donde los valores medios oscilan entre 4 y 5 que corresponde a un cielo parcialmente nublado según el *software* ALOHA, este establece un rango de 0-10, donde el valor 0 se toma para referirse a un cielo despejado, 5 un cielo nublado y 10 un cielo totalmente nublado.

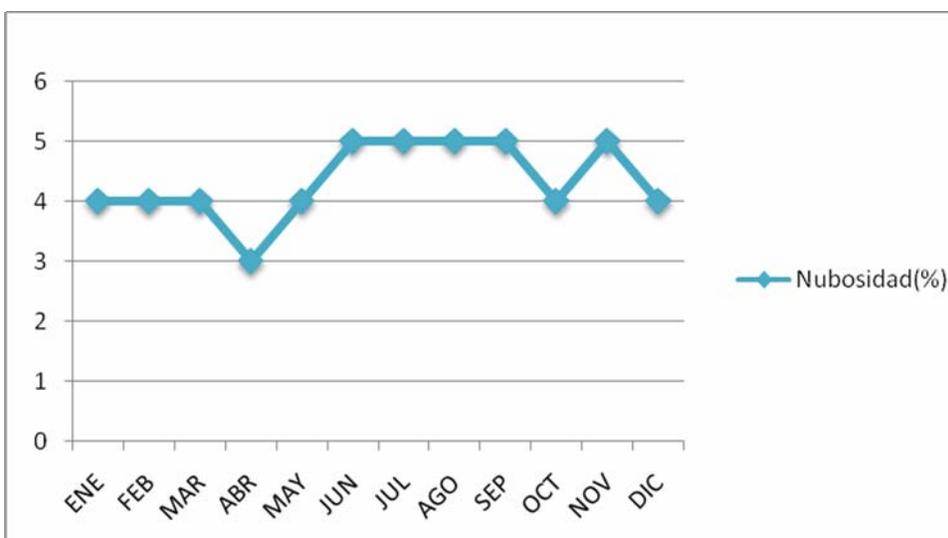


Figura 3.1. Comportamiento medio de la nubosidad para la zona objeto de estudio en la década analizada.

(Fuente: Elaboración propia)

- **Temperatura del aire.**

En la siguiente figura se aprecia que la temperatura del aire del territorio alcanza su máximo anual en los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre, mientras que el mínimo de la marcha ocurre en enero, febrero, noviembre y diciembre. Se muestra además el análisis de las temperaturas máximas promedio donde julio y agosto aparecen como los meses más cálidos con 31.43 °C y 31.3 °C respectivamente (ver anexo # 5b) y se presentan los valores medios de temperatura mínima, donde se observa a enero y febrero como los meses más fríos con 15,7 °C y 15,6°C de temperatura mínima promedio respectivamente.

Debe señalarse que los datos obtenidos para cada uno de los meses del año para la década analizada fueron procesados estadísticamente mediante el programa *Statgraphics Plus 5.1* (2001) donde pudo comprobarse que los coeficientes de variación de la temperatura para cada uno de los meses del año no supera el 3 %. Esto garantiza una alta estabilidad del comportamiento del parámetro durante toda la década para el mes en cuestión.

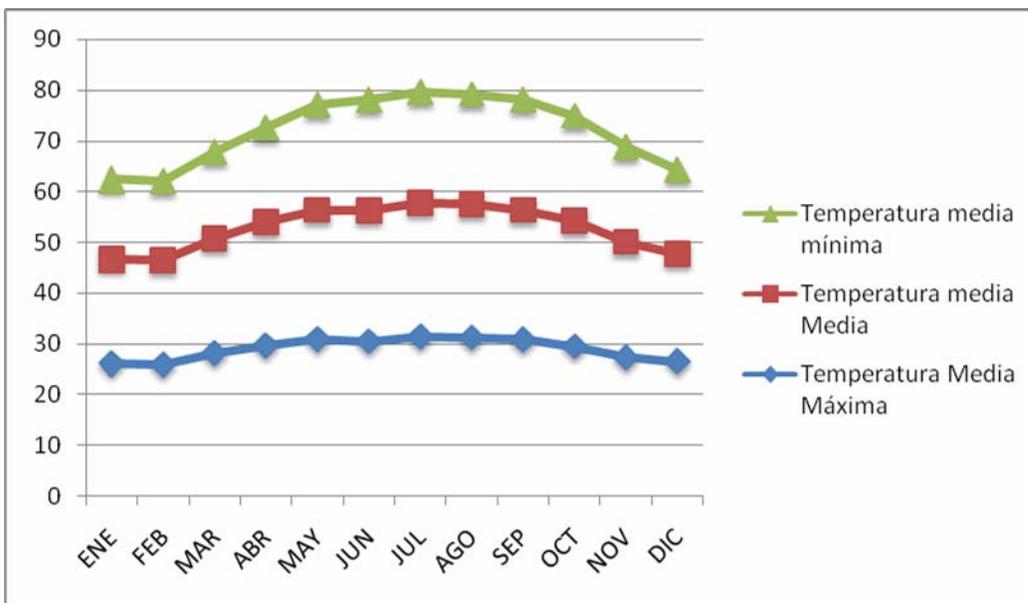


Figura 3.2. Marcha anual media de la temperatura del aire para el territorio en la década analizada.

(Fuente: Elaboración propia)

- **Humedad del aire.**

La humedad relativa se muestra en la figura 3.3, donde se obtuvieron valores elevados durante el año dado la cercanía a la costa de la zona. En el caso del mes de abril constituye el menos húmedo alcanzando un valor de 73%, mientras que junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre se alcanzan con un valor superior al 80%.

De igual forma que para la temperatura del aire se analizó la variabilidad de este parámetro y en ningún mes el coeficiente de variación supera el 2 % garantizándose la estabilidad de la variable para cada uno de los meses de la década analizada.

En el anexo #5e se muestra con más detalle la humedad relativa para el período estudiado. El *software* ALOHA usa un rango del 5 al 100% para referirse a esta variable, donde al 5% no hay humedad, al 50 % es un término medio y al 100% se alcanza la mayor humedad que es prácticamente un ambiente mojado.

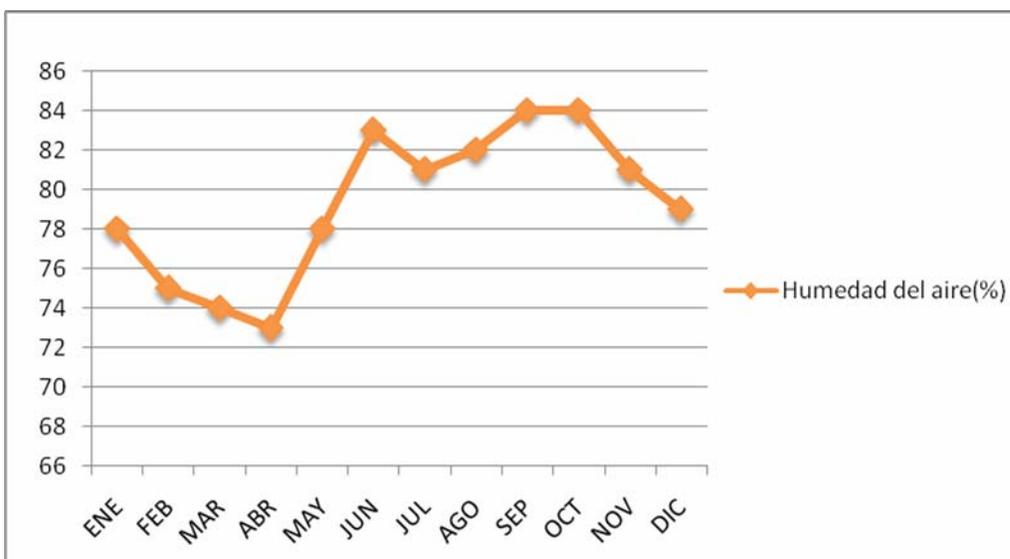


Figura 3.3. Comportamiento de la humedad relativa media de la zona objeto de estudio para la década analizada.

(Fuente: Elaboración propia)

- **Viento.**

El viento predominante se refleja en las zonas del Este, Noreste y Este-Noreste con una frecuencia de casi un 16%, 10% y 9% respectivamente, mientras que la menor se manifiesta en la zona Noroeste con casi un 1%. Además, las mayores velocidades medias son de casi 17 km/h, 15.4 km/h y 15km/h coincidiendo con los rumbos del viento.

A continuación en la figura 3.4 se refleja la frecuencia de ocurrencia de cada uno de los vientos por rumbos y la velocidad media con que sopla en esa dirección.

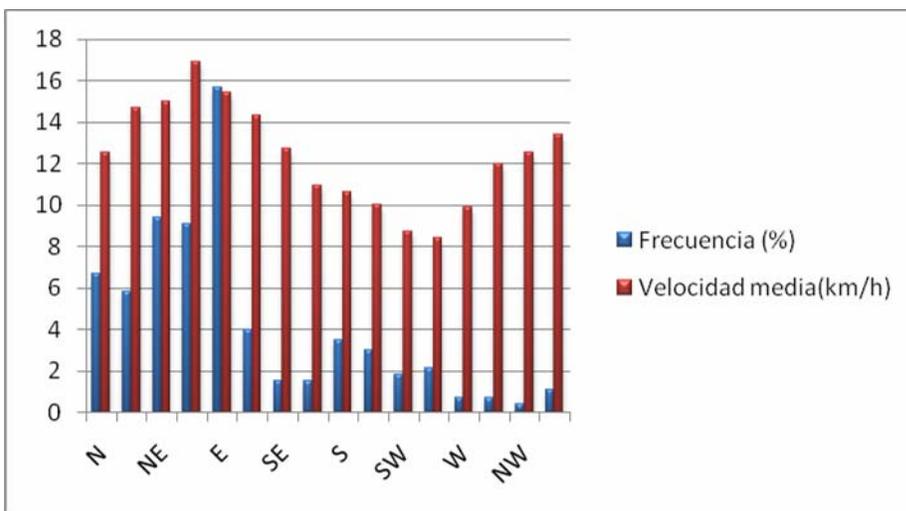


Figura 3.4. Comportamiento de la velocidad del viento y la frecuencia de ocurrencia para cada dirección en la zona objeto de estudio.

(Fuente: Elaboración propia)

En el anexo #5 se puede observar con mayor grado de detalles el comportamiento de todas las variables analizadas desde el punto de vista climático.

3.2 Análisis de las sustancias peligrosas que pueden provocar posibles accidentes en la zona de estudio.

La caracterización de las sustancias involucradas en el proceso permitió obtener el grado de peligro que las mismas poseen.

El análisis resumen que se ofrece en la tabla 3.1 sobre el nivel de peligrosidad de las sustancias estuvo basado en las indicaciones que se ofrecen en los lineamientos generales para determinar las categorías de peligro toxicológico según PNUMA/IPCS (1999) y parte de la caracterización general que se hizo de cada una de las sustancias aparecen de forma más detalladas en el anexo #3.

En dicha tabla se puede observar que las sustancias que poseen el mayor grado de peligrosidad son el sulfuro de hidrógeno y la nafta que son consideradas de peligro alto, mientras que el gas licuado y el propano se clasifican en un nivel medio y bajo respectivamente.

Tabla 3.1 Nivel de peligro asociado a las sustancias involucradas en el proceso.

Sustancias	Frases de riesgo	Peligro
Gas Licuado	R2/R3/R5/R7/R10/R12/R22/R13/R25/R44/R52/R54/R55/R56.	Medio
Sulfuro de hidrógeno	R52/R54/R55/R56. S1/S2/S9/S16/S36/S38/S45/S61	Alto
Nafta	R12, R20/22, R36/37/38 S2/S7/S9/S16/S23/S28/S29/S33/S36/S61/S62	Alto
Propano	R12 S2/S9/S16/S36/S37/S39/S33	Bajo

(Fuente: Elaboración Propia)

Según PNUMA/IPCS (1999) esta clasificación de peligro responde a:

- Peligro especial: las sustancias incluidas en esta categoría son las carcinógenas, las mutagénicas y los compuestos con efectos tóxicos en el sistema reproductivo, son consideradas como muy peligrosas y deben ser evaluadas individualmente.
- Peligro alto: sustancias etiquetadas como muy tóxicas, tóxicas, corrosivas o sensibilizadoras de la piel.
- Peligro medio: las sustancias consideradas de peligro medio y que ingresan por inhalación o ingestión son etiquetadas como “dañinas” y las de daño medio para la piel, como “dañinas” o “irritantes”.
- Peligro bajo: son las sustancias no consideradas en ninguna de las otras categorías de peligro.

Otro de los resultados obtenidos de la caracterización de la sustancia es la matriz resumen que aparece en la tabla 3.2 donde se ofrecen todos los efectos toxicológicos que presentan las sustancias analizadas. Se puede apreciar que la nafta y el sulfuro de hidrógenos son las sustancias más peligrosas, seguidamente el gas licuado y el propano que es de toxicidad más baja causando solamente una ligera sensibilización en la piel por las quemaduras de frío que provoca. Además el efecto que predomina es la sensibilización, mientras que también aparecen sustancias de toxicidad aguda, irritantes, carcinogénicas, toxicidad por dosis repetidas y corrosivas.

Tabla 3.2 Matriz resumen de la toxicidad de las sustancias.

Sustancia	Toxicidad								Total de efectos de la sustancia
	TA	I	S	TDR	M	C	Co	TPR	
Gas Licuado	X	O,P, R	X						3
Sulfuro de hidrógeno	X	O,P, R	X	X		X	X		6
Nafta	X	O,P, R	X	X		X	X		6
Propano			X						1
Total de sustancia con el efecto	3	3	4	2		2	2		
Donde, T A: Toxicidad Aguda, I: Irritación, S: Sensibilización, TDR: Toxicidad por dosis repetida, M: Mutagenicidad, C: Carcinogenicidad, Co: Corrosión, TPR: Toxicidad para la reproducción.									

(Fuente: Elaboración propia)

Nota: En el caso de la irritación se aclara si es a los ojos (O), piel (P) o respiratoria (R). En el anexo #6 se puede apreciar con más detalle los efectos (referidos a las concentraciones en ppm) que puede producir el sulfuro de hidrógeno a las personas que se encuentren expuestas a esta sustancia.

3.3 Resultados de la aplicación del software ALOHA.

3.3.1 Establecimiento de las condiciones de trabajo con el *software*.

Este estudio se realiza con la finalidad de determinar el alcance que pueden tener las diferentes sustancias tóxicas analizadas ante posibles accidentes químicos. Los contaminantes involucrados son: Gas licuado, Sulfuro de hidrógeno, Nafta y Propano.

Para una correcta utilización del programa y que los resultados que se obtengan sean fáciles de entender y manejar se toman algunas consideraciones:

- Trabajar con los valores medios de las variables que caracterizan a la década analizada.
- Realizar el estudio para cada uno de los meses del año ya que hay variaciones climatológicas significativas entre los diferentes meses.
- Tomar en cuenta las 16 direcciones del viento posibles para el análisis de la dispersión.

Los parámetros climatológicos son los requeridos por el software para estimar la magnitud de la dispersión del contaminante analizado, los criterios tomados en cuenta para la selección de cada uno de ellos, por la importancia que estos revisten serán analizados independientemente:

- Temperatura del aire: en el caso específico de la temperatura se decide tomar los valores medios de la máxima debido a que con ella se garantiza estimar las mejores condiciones de la dispersión.
- Humedad relativa: se trabaja con los valores medios, de lo contrario sería necesario hacer estimaciones para los diferentes horarios del día donde ocurren los valores máximos y mínimos. Además, se pudo comprobar que la variación que existe entre la media de las máximas y la media no introduce variaciones de consideración en el comportamiento de la dispersión del contaminante.
- Nubosidad: se toman el valor medio de la nubosidad para cada mes de la década analizada.
- Viento: para este caso se toman los 16 rumbos con la velocidad media correspondiente para el período analizado.

3.3.2. Estimación del comportamiento de la dispersión de los diferentes contaminantes a través del software ALOHA.

En la estimación del comportamiento de la dispersión de los diferentes contaminantes se aplicó el *software* ALOHA, donde se utilizó las 16 variaciones del viento, así como todos los meses del año y las 4 sustancias de mayor peligrosidad involucradas en el proceso. Los datos suministrados al *software* fueron tomados de la caracterización de las sustancias que aparece en el anexo # 3. Se realizaron las predicciones para tres escenarios: Nube tóxica de vapor, Área inflamable de una nube de vapor y Área de una explosión.

A continuación se muestra un ejemplo de los resultados del software con respecto a una de las sustancias involucradas: el gas licuado.

Escenario1: Nube tóxica de vapor.

- Sustancia tóxica: Gas licuado.
- Mes analizado: agosto.
- Dirección del viento: Este.
- Velocidad del viento: 15.4 km/h.

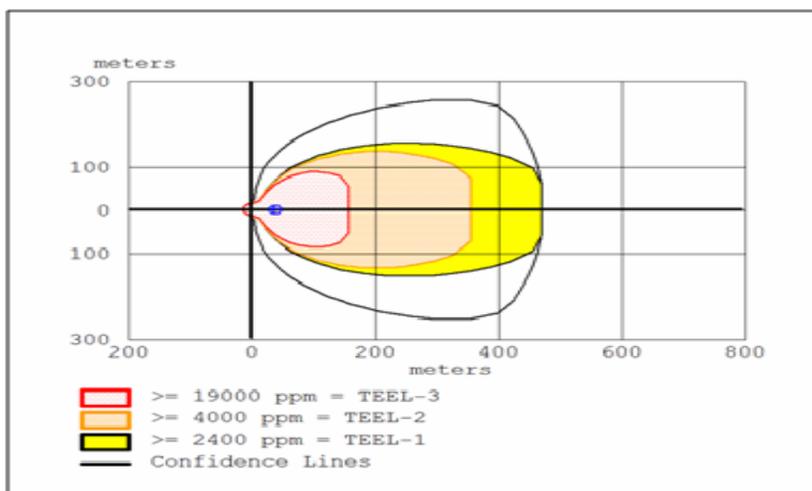


Figura 3.5. Comportamiento de la dispersión de la nube tóxica para el Gas licuado.

(Fuente: *Software* ALOHA)

El gráfico anterior muestra por el eje de las X la distancia que alcanza la dispersión de la nube tóxica y por el eje de las Y el ancho de la misma. Además aparecen tres zonas

delimitadas por diferentes colores, donde cada uno de ellos representa la concentración del tóxico que tiene la zona de acuerdo a los niveles de concentración que establece la EPA (*Environmental Protection Agency*). La línea negra representa la zona de posible afectación y que debe ser de cuidado por los daños que en la misma se pueda producir. La zona roja posee una concentración mayor o igual a 19000 ppm a la que le corresponde un TEEL-3, que equivale a la concentración máxima dispersada bajo la cual es posible creer que los individuos que estén expuestos durante 1 hora sufrirán efectos sobre la salud y puede correr peligro su vida.

La zona naranja posee una concentración mayor o igual a 4000 ppm que equivale a un TEEL-2, que se define como la concentración máxima dispersada bajo la cual es posible creer que los individuos que estén expuestos durante 1 hora pueden experimentar o desarrollar daños irreversibles u otros daños serios para la salud o síntomas que le impiden la habilidad individual para realizar una acción de protección.

La zona amarilla posee una concentración mayor o igual a 2400 ppm a la que le corresponde un TEEL-1, y que equivale a la concentración máxima dispersada según la NC 19.01.03 (1983) que está en correspondencia con lo que ofrece la EPA. Además, bajo la zona amarilla es posible creer que los individuos que estén expuestos durante 1 hora pueden sufrir efectos moderados sobre su salud.

Otra de las propiedades que posee el *software* ALOHA es que es capaz de ofrecer los niveles del tóxico que se escapa en el interior y exterior de los locales de la zona afectada. La estimación se puede realizar para cualquier punto del territorio que afecta la nube tóxica, esta información se obtiene haciendo doble clic sobre cualquiera de las zonas que aparecen en la Fig 3.5 (mostrada anteriormente) y aparecerá un gráfico como el que se ofrece a continuación, donde se muestra el comportamiento dentro y fuera de los locales a una determinada distancia, en este caso a 36.6 m.

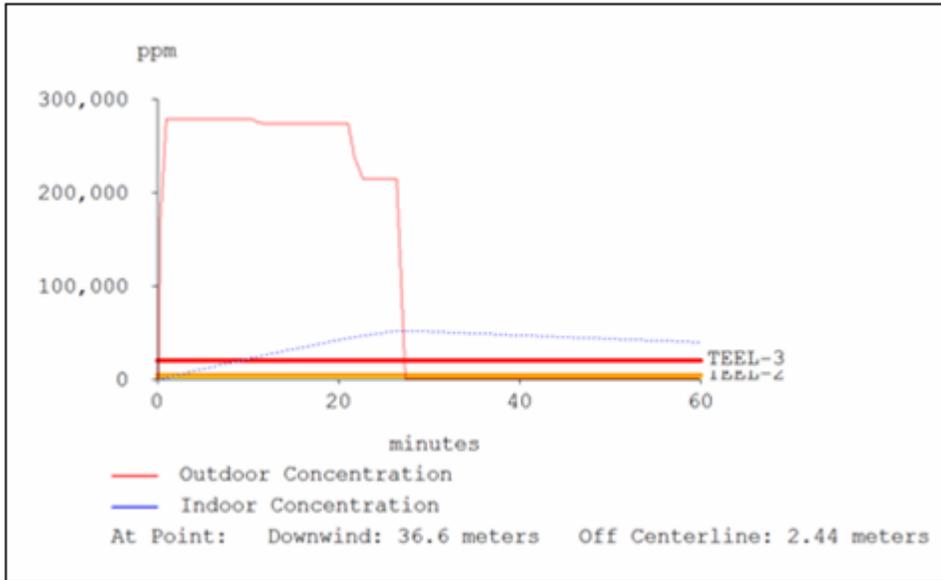


Fig. 3.6. Comportamiento de la contaminación en el interior de los locales

(Fuente: *Software ALOHA*)

Obsérvese en la figura 3.6 que la línea discontinua (azul) representa la concentración del tóxico en el interior de los locales y la continua (roja) en el exterior, además el término *At Point* identifica exactamente la distancia a la que se hace la estimación en la dirección del viento.

La figura 3.6 corresponde a un punto situado a 36.6 m de la fuente de emisión en la zona roja, aquí puede observarse que transcurrido 60 minutos todavía la línea de concentración supera el TEEL-3 lo que significa que la vida de las personas que se encuentren en estos locales corre peligro. Además, la concentración en el exterior del local supera los 250000 ppm causando que la vida de las personas expuestas se encuentre en grave peligro.

El análisis hasta aquí descrito se realizó para cada uno de los meses del año, en todas las direcciones del viento y para las cuatro sustancias tóxicas objeto de estudio. Los resultados obtenidos aparecen tabulados en las tablas resúmenes para todos los escenarios.

Ahora se procede a mostrar el escenario 2: Área inflamable de una nube de vapor para ver las repercusiones que podría causar el gas licuado en el mes de julio al Este del lugar donde modulamos el *software*.

Escenario 2: Área inflamable de una nube de vapor.

- Sustancia tóxica: Gas licuado.
- Mes analizado: Julio.
- Dirección del viento: Este.
- Velocidad del viento: 15.4 km/h.

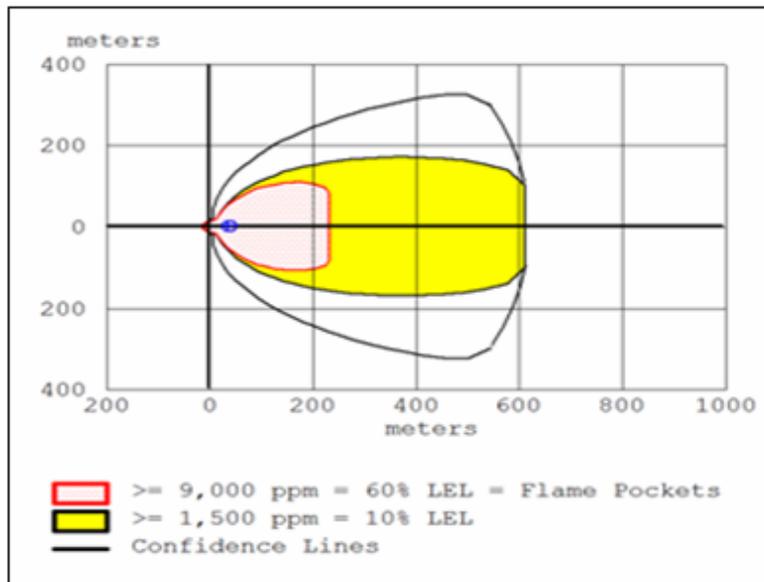


Figura 3.7. Comportamiento de la dispersión del área inflamable de una nube de vapor.

(Fuente: *Software ALOHA*)

En la figura mostrada ofrece por el eje de las X la distancia que alcanza la dispersión de la nube tóxica y por el eje de las Y el ancho de la misma. Además aparecen dos zonas delimitadas por diferentes colores, donde cada uno de ellos representa la concentración del tóxico que tiene la zona de acuerdo a los niveles de concentración que establece la EPA. La línea negra representa la zona de posible afectación y que debe tenerse cuidado por los daños que en la misma se pueda producir.

La zona roja posee una concentración mayor o igual a 9000 ppm a la que le corresponde un 60% de LEL, que equivale a la concentración mínima de combustible en el aire necesitado para un fuego o una explosión bajo la cual es posible creer que los individuos que estén expuestos durante 1 hora sufrirán efectos sobre la salud y pueden correr peligros sus vidas.

La zona amarilla posee una concentración mayor o igual a 1500 ppm a la que le corresponde un 10% de LEL, y que equivale a la concentración mínima de combustible en el aire necesitado para un fuego o una explosión bajo la cual es posible creer que los individuos que estén expuestos durante 1 hora pueden sufrir efectos moderados sobre su salud y percibir claramente un olor desagradable. Debe aclararse que este nivel de toxicidad se corresponde con el establecido por la NC 19.01.03 (1983) como concentración máxima permisible.

En la figura 3.8 que se muestra a continuación se aprecia el comportamiento en el interior o exterior de los locales a una distancia de 36.6 m, donde la línea discontinua (azul) representa la concentración del tóxico en el interior de los locales y la continua (roja) en el exterior, además el término *At Point* identifica exactamente la distancia a la que se hace la estimación en la dirección del viento. Se aprecia que transcurrido más de 60 minutos todavía la concentración dentro de los locales es mayor que el 60% de LEL, poniendo en grave peligro la vida de las personas que se encuentran dentro del local, mientras que la concentración fuera del local excede los 250000 ppm perjudicando también a las personas expuestas y cercanas a este local.

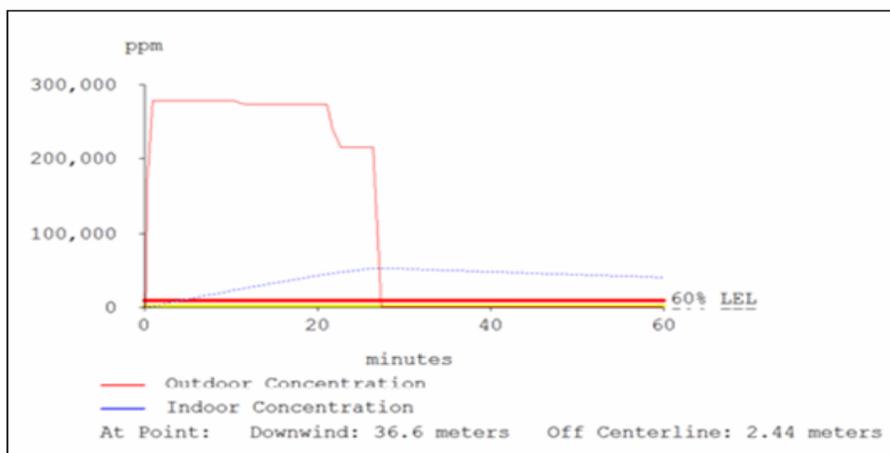


Fig 3.8. Comportamiento de la contaminación en el interior de los locales a una distancia de la fuente de emisión de 36.6 metros

(Fuente: *Software* ALOHA)

Ahora se aprecia la predicción del *software* ALOHA para el escenario 3: Área de una explosión para el gas licuado en el mes de julio.

Escenario 3: Área de una explosión.

- Sustancia tóxica: Gas licuado.
- Mes analizado: Julio.
- Dirección del viento: Este.
- Velocidad del viento: 15.4 km/h.

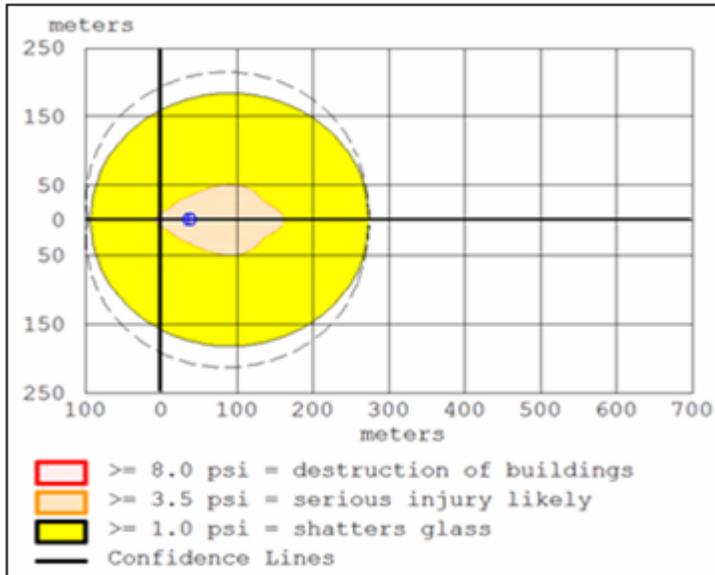


Fig 3.9 Comportamiento dispersión del área de una explosión.

(Fuente: *Software ALOHA*)

En la figura 3.9 se ven dos zonas delimitadas por el color amarillo y el naranja, los mismos representan la fuerza de la explosión de acuerdo a los niveles que establece la EPA. La línea negra representa la zona de posible afectación y que debe ser de cuidado por los daños que en la misma se puedan producir.

La zona naranja posee una fuerza de 24.1 kPa lo que, según el *software ALOHA*, ocasiona un colapso parcial de paredes y daños serios a las estructuras de concreto, mientras que la zona amarilla posee una fuerza de 6.9 kPa lo que ocasiona roturas de cristales o destrucción total de ventanas y marcos.

Debido a la importancia que posee los datos del ALOHA para comprender el peligro que representan las sustancias involucradas en el proceso se realiza la tabla 3.3 donde se resume las situaciones más peligrosas que se pudieran presentar ante posibles accidentes químicos para puntos cercanos a la fuente de emisión. Donde se puede apreciar que la concentración máxima alcanzada en el exterior de los locales en el escenario 1 se le atribuye al gas licuado con 1910000 ppm que coincide con el valor en

el escenario 2, mientras que en el interior de los locales el mayor valor es de 278 000 ppm en el escenario 1 y 275000 ppm en el escenario 2 también del gas licuado. En la tabla se presenta además el momento más peligroso para los dos primeros escenarios, este se realiza con la zona roja que nos brinda el *software* ALOHA.

Tabla 3.3 Resumen de las situaciones más peligrosas que se pudieran presentar ante posibles accidentes químicos con las sustancias analizadas para puntos cercanos a la fuente de emisión.

Sustancia Tóxica	Concentración Máxima alcanzada en Exteriores (ppm)		Momento más Peligroso m		Concentración Máxima alcanzada en Interiores (ppm)	
	Escenario 1 Nube tóxica de vapor	Escenario 2 Área inflamable de una nube de vapor	Escenario 1 Nube tóxica de vapor	Escenario 2 Área inflamable de una nube de vapor	Escenario 1 Nube tóxica de vapor	Escenario 2 Área inflamable de una nube de vapor
Gas licuado	1 910 000	1 910 000	256	356	278 000	275 000
Sulfuro de hidrógeno	528 000	782 000	665	32	4 630	6 900
Nafta	31 000	31 000	241	90	11 400	11 400
Propano	470 000	470 000	189	302	3 560	3 560

(Fuente: Elaboración propia)

En la tabla que se muestra a continuación se aprecia un resumen de las situaciones más peligrosas para el escenario 3: Área de una explosión que se pudieran presentar ante posibles accidentes químicos con las sustancias analizadas para puntos cercanos a la fuente de emisión, la fuerza con que ocurre la explosión, las afectaciones que ocasiona que en este caso es rotura de cristales y daños serios, además brinda la distancia longitudinal que puede alcanzar la nube, donde la mayor distancia corresponde al gas licuado con 442m.

Tabla 3.4 Resumen de las situaciones más peligrosas que se pudieran presentar ante posibles accidentes químicos con las sustancias analizadas para puntos cercanos a la fuente de emisión para el escenario 3: Área de una explosión.

Sustancia tóxica	Fuerza con que ocurre la explosión (kPa)	Afectaciones que ocasiona	Distancia longitudinal de la nube (m)
Gas licuado	3.5 psi	Rotura de cristales y daños serios	442
Sulfuro de hidrógeno	3.5 psi	Rotura de cristales y daños serios	36
Nafta	3.5 psi	Rotura de cristales y daños serios	113
Propano	3.5 psi	Rotura de cristales y daños serios	328

(Fuente: Elaboración propia)

3.3.3 Resumen del comportamiento de las áreas de riesgo para los diferentes escenarios y contaminantes.

En las siguientes tablas se muestra la dispersión de los diferentes contaminantes para el peor de los casos analizados durante el año para los diferentes escenarios, donde se tiene en cuenta tanto las distancias obtenidas por el ALOHA para las diferentes sustancias así como las 16 variaciones del viento. Para una mejor comprensión de las tablas se realizan las figuras 3.10, 3.11 y 3.12 que se muestran a continuación, en donde se ofrece la dispersión alcanzada para los diferentes escenarios para el peor de los casos analizados durante el año.

Tabla 3.5 Resumen de la dispersión de los diferentes contaminantes para el peor de los casos analizados durante el año para el escenario 1: Nube de gas tóxica.

Distancia longitudinal alcanzada por la nube tóxica (m)				
Dirección del viento	Gas licuado	Sulfuro de hidrógeno	Nafta	Propano
E	472	7600	414	321
ENE	454	7700	242	308
ESE	489	7600	259	333
N	523	7700	273	356
NE	477	7700	254	325
NNE	482	7700	257	329
NNW	505	7600	266	344
NW	523	7700	273	356
S	573	7600	291	383
SE	518	7700	271	353
SSE	562	7600	288	379
SSW	585	7600	298	393
SW	647	7600	315	410
W	588	7600	299	394
WNW	529	7600	277	362
WSW	664	7700	320	416

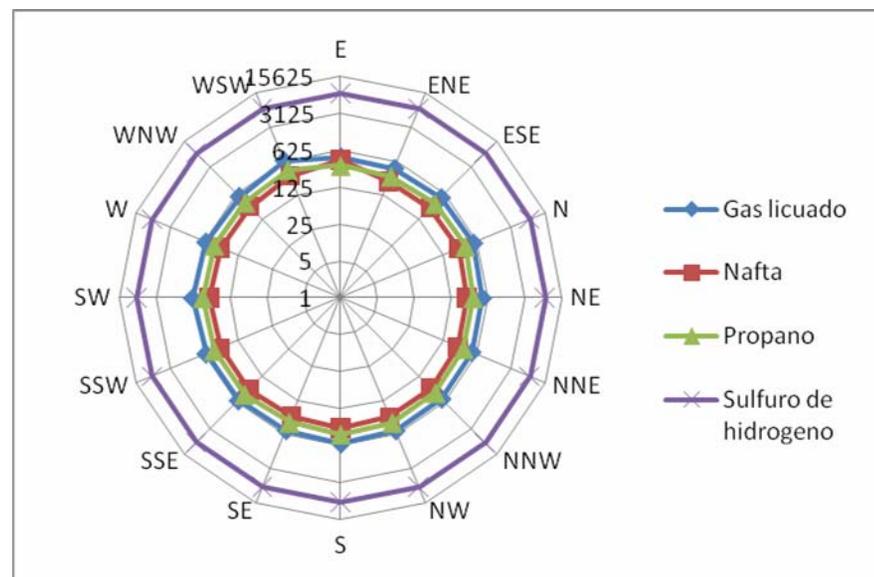


Fig. 3.10 Resumen de la dispersión de los diferentes contaminantes para el peor de los casos analizados durante el año para el escenario 1: Nube de gas

tóxica. (Fuente: Elaboración propia)

En esta gráfica se aprecia que la mayor distancia de la nube tóxica de vapor lo alcanza el sulfuro de hidrógeno con 7700 m, seguidamente el gas licuado con 664m, las líneas del propano y la nafta se superponen pues poseen valores similares.

Tabla 3.6 Resumen de la dispersión de los diferentes contaminantes para el peor de los casos analizados durante el año para el escenario 2: Área inflamable de una nube de vapor.

Distancia longitudinal alcanzada por la nube tóxica (m)				
Dirección del viento	Gas licuado	Sulfuro de hidrógeno	Nafta	Propano
E	615	89	262	562
ENE	595	88	152	551
ESE	633	89	164	572
N	674	91	174	589
NE	621	89	160	565
NNE	626	89	162	568
NNW	653	90	169	580
NW	674	91	174	589
S	732	93	188	595
SE	669	90	173	587
SSE	720	92	185	592
SSW	745	94	193	599
SW	815	98	205	601
W	749	95	194	600
WNW	680	91	178	586
WSW	833	89	262	605

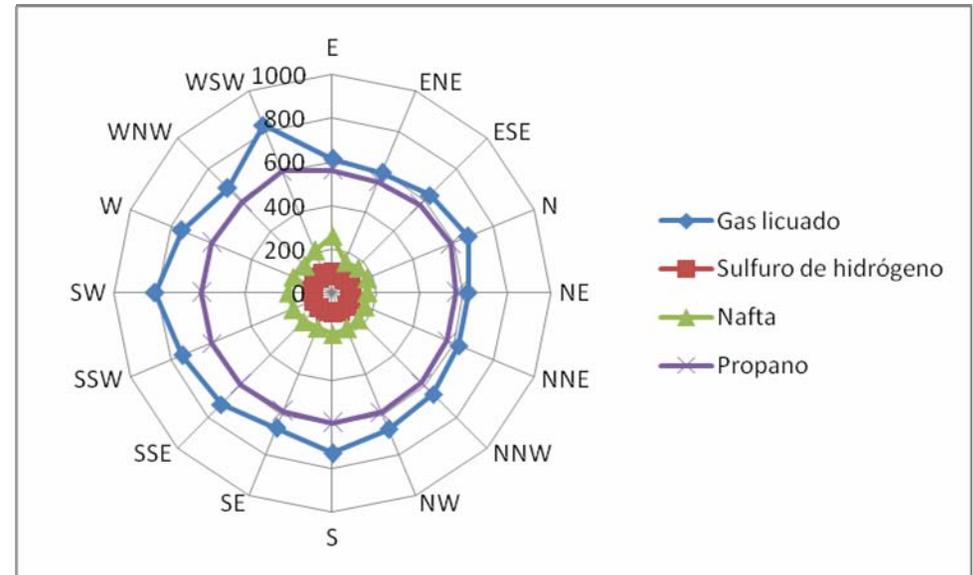


Fig. 3.11 Resumen de la dispersión de los diferentes contaminantes para el peor de los casos analizados durante el año para el escenario 2: Área inflamable de una nube de vapor.

(Fuente: Elaboración propia)

La figura 3.11 corresponde a la dispersión de los diferentes contaminantes para el peor de los casos analizados durante el año para el escenario 2: Área inflamable de una nube de vapor. Obsérvese que la mayor área inflamable la alcanza el gas licuado con 833m en dirección WSW, mientras que el sulfuro de hidrógeno posee la menor área con 98m en dirección SW.

Tabla 3.7 Resumen de la dispersión de los diferentes contaminantes para el peor de los casos analizados durante el año para el escenario 3: Área de una explosión.

Distancia longitudinal alcanzada por la nube tóxica (m)				
Dirección del viento	Gas licuado	Sulfuro de hidrógeno	Nafta	Propano
E	276	29	113	242
ENE	260	28	65	227
ESE	289	30	73	253
N	315	31	80	269
NE	281	29	70	246
NNE	284	30	71	249
NNW	301	30	76	262
NW	315	31	80	269
S	355	33	89	294
SE	311	31	79	267
SSE	347	33	88	291
SSW	372	34	93	302
SW	409	35	102	323
W	375	34	94	304
WNW	326	32	82	279
WSW	422	36	104	328

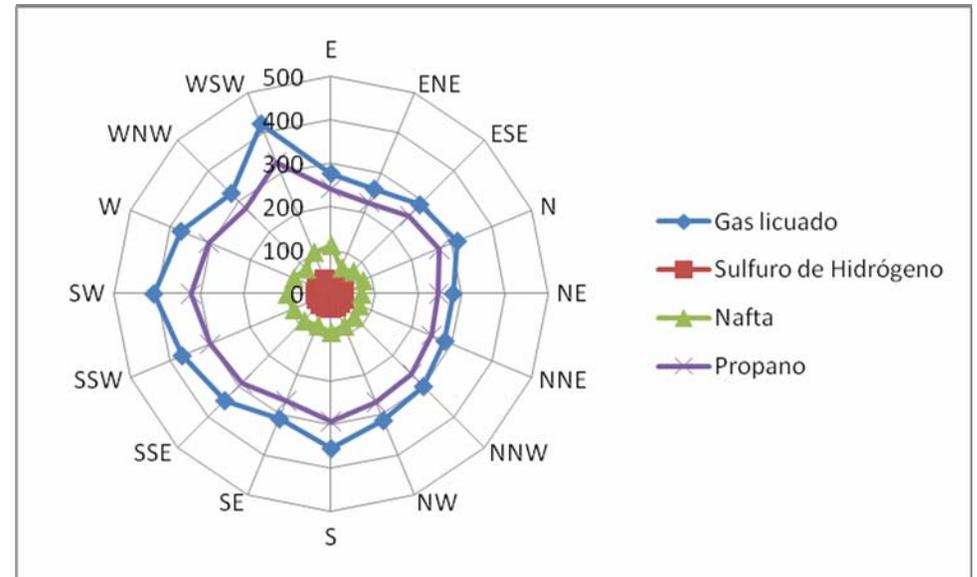


Fig. 3.12 Resumen de la dispersión de los diferentes contaminantes para el peor de los casos analizados durante el año para el escenario 3: Área de una explosión.

(Fuente: Elaboración propia)

En el caso de la Fig 3.12 se refleja el área de una explosión para el peor de los casos durante el año. Los menores valores los reportan el sulfuro de hidrógeno y la nafta con 28 m y 65 m respectivamente, en tanto las mayores distancias la alcanzan el gas licuado y el propano en dirección WSW con 422 m y 328m respectivamente.

Las tablas que se muestran a continuación reflejan los meses más agresivos, la máxima dispersión alcanzada por las diferentes sustancias que se analizan y la dirección del viento en que se manifiestan de las sustancias moduladas.

Tabla 3.7 Resumen de la dispersión de los diferentes contaminantes para el peor de los casos analizados durante el año para el escenario 1: Nube de gas tóxica.

Sustancia	Meses más agresivos	Distancia longitudinal alcanzada por la nube (m)	Dirección del viento en que se manifiesta
Gas licuado	Mayo, julio, agosto	664	WSW
Sulfuro de hidrógeno	Mayo, julio, agosto, septiembre	7700	ENE, N, NE, NNE, NW, SE
Nafta	Agosto	414	E
Propano	Mayo, julio, agosto, septiembre	416	WSW

(Fuente: Elaboración propia)

En el caso de la tabla 3.7 se realiza para el escenario 1, donde los meses de mayo, julio, agosto y septiembre son los más agresivos, esto puede estar influenciado por las altas temperaturas siendo estos los meses más cálidos o por la elevada humedad del aire; la mayor distancia longitudinal alcanzada por la nube corresponde al sulfuro de hidrógeno con 7700m y la menor pertenece a la nafta con 414m manifestándose en dirección Este.

Tabla 3.8 Resumen de la dispersión de los diferentes contaminantes para el peor de los casos analizados durante el año para el escenario 2: Área inflamable de una nube de vapor.

Sustancia	Mes más agresivo	Distancia longitudinal alcanzada por la nube (m)	Dirección del viento en que se manifiesta
Gas licuado	Julio, agosto	883	WSW
Sulfuro de hidrógeno	En todos los meses tuvo el mismo comportamiento.	99	WSW
Nafta	Agosto	262	E
Propano	Julio	605	WSW

(Fuente: Elaboración propia)

En la tabla anterior la mayor dispersión la alcanza el gas licuado con 883m en dirección WSW en los meses de julio y agosto siendo estos los más agresivos y el menor valor lo reporta el sulfuro de hidrógeno con 99m también en la misma dirección del viento. Se aprecia además que casi todas las sustancias coinciden en que la dirección del viento donde más se manifiesta este escenario es WSW y los meses más agresivos son julio y agosto, esto puede ser porque estos son los meses de temperaturas más cálidas y las velocidades del viento alcanzan los 9.9 km/h.

Tabla 3.9 Resumen de la dispersión de los diferentes contaminantes para el peor de los casos analizados durante el año para el escenario 3: Área de una explosión.

Sustancia	Mes más agresivo	Distancia longitudinal alcanzada por la nube (m)	Dirección del viento en que se manifiesta
Gas licuado	Julio	422	WSW
Sulfuro de hidrógeno	En todos los meses tuvo el mismo comportamiento.	36	WSW
Nafta	Agosto	113	E
Propano	Mayo, julio, agosto y septiembre	328	WSW

(Fuente: Elaboración propia)

En la tabla anterior la mayor dispersión la alcanza el gas licuado con 422 m mientras que la menor pertenece al sulfuro de hidrógeno con solo 36 m, la dirección del viento que predomina es WSW y los meses más agresivos se mantienen en julio y agosto.

3.3.4 Impacto de las predicciones realizadas sobre la zona objeto de estudio.

En este epígrafe se analiza como incidiría sobre la zona en cuestión los resultados hasta aquí obtenidos por el *software* ALOHA, evaluando así el peligro que representaría un posible escape de las sustancias tóxicas modeladas, las cuales pueden llegar a alcanzar los 7700m (8 km) y afectar así a los lugares más cercanos como son: Humberto Álvarez, Santa Marta y Varadero.

Con el objetivo de conocer cuáles serían las personas más afectadas a sufrir los efectos de un escape de las sustancias tóxicas se realiza la tabla 3.10, siendo esta un resumen del estado de salud de la población más cercana a la planta Energas, en este caso el Consejo Popular Humberto Álvarez

Tabla 3.10 Resumen del estado de salud de la población de Humberto Álvarez (Guásima). Tomado del Centro Provincial de Salud, Cárdenas.

Enfermedad	Total de personas enfermas	% que representa la población enferma
Diabetes Mellitus (DM)	341	3.61
Hipertensión Arterial (HA)	2 217	23.47
Asma bronquial (AB)	823	8.71
Insuficiencia renal crónicas (IRC)	2	0.02
Cardiopatía Isquémica (CI)	635	6.72
Enfermedades cerebro Vasculares (ECV)	101	1.07
Total	9448	43.6

(Fuente: Elaboración propia)

En la tabla anterior se aprecia que la hipertensión arterial es la enfermedad que ataca con más incidencia a la población del consejo popular Humberto Álvarez, mientras que la insuficiencia renal crónica afecta solo en un 0.02 % a la población total. Este consejo popular cuenta con un total de 4419 personas enfermas, estas representan el 44% de la población total.

Para una mejor comprensión de lo explicado anteriormente se utiliza la hoja de cálculo Excel, donde representa en % a la población total del poblado, se muestra además a las personas que padecen las diferentes enfermedades, así como el % de personas sanas siendo este de 56 %.

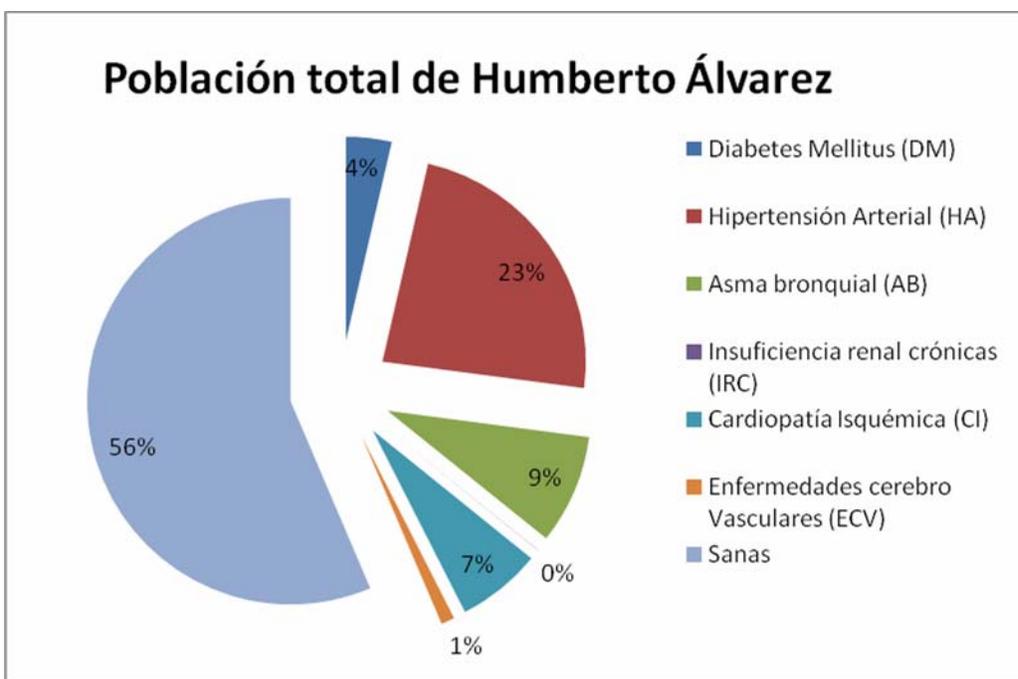


Fig. 3.13. Población total de Humberto Álvarez

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente tabla se muestra la cantidad de personas tanto del sexo femenino como del masculino en los diferentes lugares donde podría afectar un posible escape de las sustancias tóxicas.

Tabla 3.11 Resumen de la población.

Lugar	Sexo: Masculino	Sexo: Femenino	Total
Varadero	2860	3387	6 247
Santa Marta	7776	7696	15472
Humberto Álvarez	4625	4823	9448
Total	15261	15906	31167

(Fuente: Elaboración propia)

En la tabla anterior se puede apreciar la cantidad de personas de ambos sexos que correrían peligro y que habrían de evacuar en caso de emergencia, donde la mayor población la posee Santa Marta, aunque por cercanía a la zona de peligro el Consejo Popular Humberto Álvarez sería el primer lugar destinado para la evacuación con 9448 personas.

Con el objetivo de apreciar en que concentración afectaría a la población la nube tóxica correspondiente al escenario 1 se presenta la tabla 3.12 donde se muestra las

concentraciones en partes por millón (ppm) de las diferentes sustancias, dichas concentraciones son tomadas del *software* ALOHA y coinciden con la concentración máxima permisible según la NC 19.01.03 (1983).

Tabla 3.12 Concentración de las diferentes sustancias según las zonas de riesgo.

Sustancias	Concentración (ppm) de las diferentes zonas de riesgo			Distancia alcanzada por la nube tóxica para el peor de los casos en el año (m)		
	R	N	A	R	N	A
	Gas licuado	19000	4000	2400	256	519
Sulfuro de hidrógeno	100	30	0.1	665	1100	7700
Nafta	1500	610	610	241	414	414
Propano	33000	17000	5500	189	259	416

Donde, **R**: Zona roja, **N**: Zona naranja, **A**: Zona amarilla

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se observa que el sulfuro de hidrógeno es la sustancia más concentrada con un valor de 0.1 ppm a una distancia de 7700m en la zona amarilla, lo que significa que a esta distancia las personas que se encuentren estarían expuestas a la máxima concentración permisible, mientras que en las zonas naranja y roja las personas podrían desarrollar daños irreversibles para su salud y correría peligro su vida. Para comprender cuáles serían los efectos del sulfuro de hidrógeno a las diferentes concentraciones de la tabla 3.12 se presenta el anexo #6, donde a una concentración de 1ppm: se puede oler, en cambio para 20 ppm: el límite de exposición debe ser cero y a partir de 100 ppm se deja de oler de 2-15 minutos provocando dolor de cabeza, náuseas y puede arder la garganta. En el caso de la población de Humberto Álvarez el escape de dicha sustancia no causaría ningún daño solo un ligero olor desagradable.

Conclusiones.

1. El empleo del *software* profesional ALOHA permitió estimar las áreas que pudieran ser afectadas en la planta Energas S.A, Varadero ante posibles accidentes químicos y las concentraciones de las sustancias tóxicas que existirán en ellas, lo cual corrobora la hipótesis planteada.
2. La caracterización climatológica permitió determinar que los valores medios de las variables analizadas para cada mes son representativos de la década que se analiza. La dirección predominante del viento es del este y del oeste-suroeste.
3. La caracterización de las sustancias tóxicas permitió determinar que las sustancias más peligrosas de acuerdo a su toxicidad son: la nafta, el sulfuro de hidrógeno, el gas licuado y en última instancia el propano.
4. Mediante el *software* ALOHA se determinó las sustancias de mayor riesgo para cada escenario atendiendo a la distancia longitudinal y el rumbo del viento, estas son:
 - Se pudo determinar que el sulfuro de hidrógeno es la sustancia más peligrosa oscilando su distancia longitudinal entre los 7600m y los 7700m en todas las direcciones del viento para el escenario 1.
 - En el caso del escenario 2 el gas licuado es quien alcanza la mayor dispersión alcanzando los 833m en el rumbo WSW.
 - Para el escenario 3 que es el área de una explosión el gas licuado y el propano son quienes alcanzan la mayor dispersión de 422m y 328m respectivamente en dirección WSW.
5. El impacto de las predicciones del *software* ALOHA sobre la zona objeto de estudio muestra que el sulfuro de hidrógeno es la única sustancia capaz de afectar con mayor intensidad a la población del consejo popular Humberto Álvarez.

Recomendaciones.

- Continuar la tesis analizando las sustancias restantes.
- Recogida de los datos de las variables climatológicas hasta la fecha actual.

Bibliografía.

- Acosta, G. (2008). Evaluación de riesgos en la Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo del Centro. *Tesis en opción al título de Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba.*
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH. (1997). *Threshold limits values for chemical substances and physical agents. Biological exposure indices. Cincinnati, OH.*
- Asociación colombiana de Tecnólogos en atención prehospitalaria, ACOTAPH.(1989). *Definición de emergencia. Colombia.* [consultado: 1 de febrero del 2012][on line].*Disponible en: ¡Error! Referencia de hipervínculo no válida.*
- Casal, J [et. al]. (2001). *Análisis del Riesgo en Instalaciones Industriales, Alfaomega S.A., Bogotá (Colombia)*
- Castro, D. (2012). Evaluación de atmósferas peligrosas en la Zona Industrial de Matanzas ante posibles accidentes químicos. *Tesis en opción al título de Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba.*
- Cohen, R & Ahearn, F. (1990). *Manual de la atención de salud mental para víctimas de desastre.* [consultado: 1 de febrero del 2012][on line].*Disponible en: <http://helid.digicollection.org/en/d/Jops28s/4.3.html>*
- Commission, E. (1996). *Technical Guidance Document on Risk Assessment for New Substances and Commission Regulation, European Commission, Luxemburgo.*
- Correa, A.D. (2004). *Manual de Seguridad y Salud Ocupacional. Transportación segura de sustancias peligrosas., MINBAS, La Habana*
- Covello, V. & Merkhofer, M. (1993). *Risk Assessment Methods. Approaches for Assessing Health and Environmental Risks, Plenum Prees, New York.*
- Cutter, S.(1993). *“Living with risk”. Rutgers University. Presented by The British Council. Edward Arnold. London, New York, Melbourne, Auckland.*
- Decreto 919. (1989). *Definición de desastre. Artículo 315 de la Constitución Nacional.* [consultado: 1 de febrero del 2012][on line].*Disponible en: <http://www.cali.gov.co/gobierno/publicaciones.php?id=734>*

- Duffus, J.H & Worth, G.J. (1996). *Fundamental Toxicology for Chemists*. Royal Society of Chemistry, Londres.
- Faustman, E. & Omenn, G. (1996). 'Risk Assessment', in *Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons*, McGraw-Hill, New York, pp. 75-88.
- Galán.(2002). Manual del sistema de prevención de riesgos laborales, Xixona.
- Gálvez, W. (2001). Desastres y situaciones de emergencias. UNMSM, Lima Perú. [consultado: 1 de febrero del 2012]*[on line]*.Disponible en: www.reeme.Arizona.edu
- Hernández, L. (2009). Evaluación de los riesgos en el sistema de Calentamiento de Aire Regenerativo de la Central Termoeléctrica “Antonio Guiteras” de Matanzas. *Tesis en opción al título de Ingeniero Químico*. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba.
- Irving, N. (2003). Dangerous properties of industrial materials.
- IUPAC. (1993). *Glossary for chemists of terms used in toxicology*.
- Klaassen, C.D. (1996). *Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons*.
- Linares, O. G. (2001). Manual del sistema de prevención de riesgos laborales. Gestión y prevención de riesgos laborales en una industria horchatera. IX seminario de formación.
- López, I. (2010). Evaluación de atmósferas peligrosas en la Zona Industrial de Matanzas ante posibles accidentes. Tesis en opción al título Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba
- *Manual de usuario del software ALOHA*. (2007). [consultado: 1 de febrero del 2012]*[on line]*.Disponible en: www.fiqm.umcc.cu.
- Martínez, N. (2009). Análisis de los riesgos industriales en la Empresa Comercializadora de Combustibles Matanzas. *Tesis en opción al título de Ingeniero Químico*. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba.
- Maskrey, A. (1994). Comunidad y Desastres en América Latina: Estrategias de Intervención. Capítulo N° 1. En “Viviendo en Riesgo: comunidades vulnerables y prevención de desastres en América Latina”. Tercer Mundo Editores. Colombia.

[consultado: 1 de febrero del 2012][on line].Disponible en: [http:// www.cee-chile.org/estudios/quin01.htm](http://www.cee-chile.org/estudios/quin01.htm)

- Morales, Y. C. (2004). Manual de procedimientos de Seguridad Industrial. Protección a las instalaciones., La Habana.
- Moya, B. (2010). Esp. Principal Meteorología. CITMA. Matanzas.
- Muñoz, B. 1992. La Metodología de la Seguridad Industrial, Ministerio de Ciencia y Tecnología.
- NC 19.01.03:83. Sistema de normas de protección e higiene del trabajador, Aire de la zona del trabajo, Requisitos higiénico sanitarios.1980.
- Nguyen. (2011). Determinación de áreas de peligro potencial que pueden originarse, por incendios y/o explosiones, en la Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas. Tesis en opción al título de ingeniero Químico.
- *NTP 542. (1995). Tóxicos para la reproducción femenina. España.* [consultado: 13 de febrero del 2012][on line]. Disponible en: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp_542.pdf.
- Oficina Internacional del Trabajo, OIT. (1993). “Control de Riesgos de Accidentes Mayores. Manual Práctico”. Contribución de la OIT al Programa Internacional PNUMA/OIT/OMS de Seguridad en las Sustancias Químicas (IPCS). Ediciones Alfaomega, S.A. de C.V. México. [consultado: 1 de febrero del 2012][on line]. Disponible en: **¡Error! Referencia de hipervínculo no válida.**
- Orozco, J. L. (2007). Guía para la caracterización de las sustancias .Universidad de Matanzas.
- PNUMA/IPCS. (1999). Evaluación de riesgos químicos. Programa Nacional de las Naciones Unidas
- *Reglamento REACH. (1907/2006). Requisitos de información toxicológica. Prévention du risque chimique. Francia.* [consultado: 14 de febrero del 2012][on line].Disponible en: http://www.prc.cnrs-gif.fr/reach/es/toxicological_data.html
- Rodríguez. (2006). Análisis de Riesgos Industriales en la Planta de Tratamiento Químico de Agua de la Central Termoeléctrica “Antonio Guiteras” de Matanzas.

Tesis en opción al título de Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba.

- *Rodríguez, D. G. (2004). Evaluación de riesgos industriales en la planta de ácido sulfúrico. Proyecto de curso, Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba.*
- *Rodríguez, T. (2006). El mantenimiento predictivo con enfoque de producción más limpia en agregados del generador de vapor de centrales termoeléctricas. Tesis doctoral. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba.*
- *Sección Sindical del Sindicato.(2003). Sustancias mutagénicas. La Rábida. [consultado: 13 de febrero del 2012][on line].Disponible en: http://www.sindicatounitario.net/rlr/TEXTOS/NI_03/Nota-informativa-SS-n%BA%2019-26-09-03-Mutag%E9nicos-II.pdf*
- *Servicio de prevención de riesgos laborales. (1990). Peligrosidad de los productos químicos. Universidad de Jaén. [consultado: 13 de febrero del 2012][on line].Disponible en: **¡Error! Referencia de hipervínculo no válida.***
- *Sindicato Independiente de Trabajadores de los Colegios de Bachilleres. (2009). Seguridad e Higiene industrial. [consultado: 1 de febrero del 2012][on line].Disponible en: **¡Error! Referencia de hipervínculo no válida.***
- *Smith, K. (1996). "Environmental Hazards. Assessing Risk and Reducing Disaster". A volume in the Routledge Physical Environment Series. University of Cambridge. Printed in Great Britain[consultado: 1 de febrero del 2012][on line].Disponible en: **¡Error! Referencia de hipervínculo no válida.***
- *Soldano, Á.(2008). Conceptos de riesgos. Provincia Córdoba, Argentina. [consultado: 1 de febrero del 2012][on line].Disponible en: <http://www.rimd.org/advf/documentos/4921a2bfbe57f2.37678682.pdf>*
- *Soriano, B. R. (2010). Espec. Principal Meteorología. Aeropuerto Internacional. Juan Gualberto Gómez.*
- *Statgraphics Plus 5.1. (2001). Software Estadístico. [consultado: 1 de febrero del 2012][on line].Disponible en: www.fiqm.umcc.cu.*
- *Zagal, J. (1996). Memoria del simposio regional sobre preparativos para emergencias y desastres químicos. [consultado: 1 de febrero del 2012][on*

line]. Disponible en: <http://www.cepis.ops.oms.org/tutorial/fulltex/evaluación.html>.2009

Anexos.

Anexo #1. Peligrosidad de los productos químicos y su nomenclatura.

Por sus características físico-químicas		
Categoría	Descripción	Pictograma
EXPLOSIVAS	las sustancias y preparados sólidos, líquidos, pastosos, o gelatinosos que, incluso en ausencia de oxígeno atmosférico, puedan reaccionar de forma exotérmica con rápida formación de gases y que, en determinadas condiciones de ensayo, detonan, deflagran rápidamente o bajo el efecto del calor, en caso de confinamiento parcial, explotan.	
COMBURENTES	las sustancias y preparados que, en contacto con otras sustancias, en especial con sustancias inflamables, produzcan una reacción fuertemente exotérmica.	
EXTREMADAMENTE INFLAMABLES	las sustancias y preparados líquidos que tengan un punto de ignición extremadamente bajo y un punto de ebullición bajo, y las sustancias y preparados gaseosos que, a temperatura y presión normales, sean inflamables en contacto con el aire.	
FÁCILMENTE INFLAMABLES	las sustancias y preparados: 1. Que puedan calentarse e inflamarse en el aire a temperatura ambiente sin aporte de energía, o 2. Los líquidos cuyo punto de ignición sea muy bajo, o 3. Que, en contacto con el agua o con el aire húmedo, desprendan gases extremadamente inflamables en cantidades peligrosas	
INFLAMABLES	Las sustancias y preparados líquidos cuyo punto de ignición sea bajo.	

Anexos# 1. Continuación.

Por sus propiedades toxicológicas		
Categoría	Descripción	Pictograma
MUY TOXICOS	las sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea en muy pequeña cantidad puedan provocar efectos agudos o crónicos e incluso la muerte	
TOXICOS	las sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea en pequeñas cantidades puedan provocar efectos agudos o crónicos e incluso la muerte.	
NOCIVOS	las sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea puedan provocar efectos agudos o crónicos e incluso la muerte.	
CORROSIVOS	las sustancias y preparados que, en contacto con tejidos vivos puedan ejercer una acción destructiva de los mismos.	
IRRITANTES	las sustancias y preparados no corrosivos que, en contacto breve, prolongado o repetido con la piel o las mucosas puedan provocar una reacción inflamatoria	
SENSIBILIZANTES	las sustancias y preparados que, por inhalación o penetración cutánea, puedan ocasionar una reacción de hipersensibilidad, de forma que una exposición posterior a esa sustancia o preparado dé lugar a efectos negativos característicos.	

Anexo #1. Continuación.

Por sus efectos sobre la salud humana		
Categoría	Descripción	Pictograma
CARCINOGENICOS	las sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea puedan producir cáncer o aumentar su frecuencia.	
MUTAGENICOS	las sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea, puedan producir alteraciones genéticas hereditarias o aumentar su frecuencia	
TOXICOS PARA LA REPRODUCCIÓN (TERATOGENOS)	las sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea, puedan producir efectos negativos no hereditarios en la descendencia, o aumentar la frecuencia de éstos, o afectar de forma negativa a la función o a la capacidad reproductora.	

Por sus efectos sobre el medio ambiente		
Categoría	Descripción	Pictograma
PELIGROSOS PARA EL MEDIO AMBIENTE	las sustancias y preparados que presenten o puedan presentar un peligro inmediato o futuro para uno o más componentes del medio ambiente	

Anexo #1.Continuación.

Otros tipos de efectos		
Categoría	Descripción	
ASFIXIANTES	ASFIXIANTES SIMPLES	Sustancias que desplazan el oxígeno en el aire, disminuyendo su concentración (Nitrógeno, Metano, CO2, Helio, etc.)
	ASFIXIANTES QUIMICOS	Impiden la llegada del oxígeno a los lugares requeridos en la sangre. Su acción se presenta de distintas formas.
ALERGENOS	Aquellas sustancias químicas que, su contacto con la piel y las mucosas o su entrada en el organismo, provocan una reacción anormal del sistema de defensa inmunológico.	

Anexo # 2. Diagrama de flujo del proceso.

Leyenda:

- | | | |
|---------------------------------------|--------------------------------------|---|
| 1. Separador INLET | 14. Mezclador | 27. Economizador |
| 2. Filtro Coaleser | 15. Intercambiador de calor | 28. Deetanizadora |
| 3. Compresores eléctricos | 16. Torre de impersora | 29. Rehervidor tipo Kettle |
| 4. Compresor mecánico | 17. Intercambiador Gas-Gas | 30. Condensador |
| 5. Torre de absorción | 18. Chiller | 31. Debutanizadora |
| 6. Intercambiador de calor | 19. Válvula Joules-Thompson | 32. Tambor de reflujo |
| 7. Columna de destilación | 20. LTS(Low Temperature Separation) | 33. Tanque de almacenamiento de LPG |
| 8. Rehervidor | 21. Bota | 34. Tanque de almacenamiento de Propano |
| 9. Condensador | 22. Bomba de recirculación | 35. Tanque de almacenamiento de Nafta |
| 10. Unidad de Azufre | 23. Compresor | 36. Turbinas GT acopladas con HRSG |
| 11. Bomba | 24. Separdor | 37. Turbina de vapor ST |
| 12. Tanque de alamacnamiento de amina | 25. Condensador | 38. Tanque de deareación |
| 13. Bomba | 26. Tanque de almacenamiento Propano | 39. Bomba de condensado |
| | | 40. Bomba de agua de alimentación |

Anexo # 3. Caracterización de las sustancias involucradas en el proceso.

Identificación del producto

- Nombre del producto-----**Propano**
- Fórmula Química-----C₃H₈
- Etiquetado de peligro (frases R y S) así como las que la identifican por otros efectos.
Frases R----- R12
Frases S----- S2, S9, S16, S36/37/39, S33

Datos Físicos.

- Apariencia-----gas
- Punto de ebullición----- -42.1 °C
- Punto de fusión----- -187,7 °C
- Solubilidad----- soluble en agua
- Densidad----- 1.83 kg/m³
- TLV - Límite superior de inflamabilidad----- 9.6 % Volumen
- IPVS. Límite inferior de explosividad----- 2.0 % Volumen
- Punto de congelación----- -187.8 °C
- Temperatura de autoignición----- 540.1 °C
- Coeficiente de expansión----- 1-270 (de líquido al gas 14.7 psia)
- Temperatura de inflamación----- -103.85 °C
- Biodegradabilidad----- --
- Corrosión----- no es tan corrosivo

Formas de control y mitigación en casos de desastres:

Productos o técnicas empleados en el control y mitigación en caso de desastre:

❖ Medidas de lucha contra incendio:

- Estos materiales se entregan, almacenan y emplean a temperaturas superiores a su temperatura de inflamación por tanto evite toda clase de llamas, chispas, cigarrillos, etc.

- En caso de fuego: Avisar inmediatamente a los bomberos. Asegurarse de que existe una vía de escape al alcance desde cualquier punto. El fuego en locales cerrados deben ser extinguidos por personal experto provisto.
- Si el gas se ha inflamado, no tratar de apagarlo sino cerrar la válvula y dejar que se extinga por sí solo.
- Tener en cuenta todas las precauciones para mantener fríos los recipientes a fin de evitar la posible explosión debida a la expansión de los vapores producidos por los líquidos al hervir.
- Nota: Los recipientes a presión pueden explotar violentamente si son sometidos a altas temperaturas.

❖ Medidas en caso de vertido accidental:

- Puesto que este material tiene una temperatura de inflamación muy baja, todo derrame o escape supone un gran peligro de incendio o explosión. Si el derrame (o escape) no ha prendido, cerrar la válvula de gas, aislar todas las fuentes de ignición y evacuar el personal. Garantizar una buena ventilación.
- Los escapes de líquido generan grandes volúmenes de vapores inflamables, más pesados que el aire, que pueden alcanzar fuentes de ignición, por remotas que éstas sean. (por ejemplo: a través del sistema de alcantarillado).
- Emplear pulverizadores de agua para dispersar el gas o vapor y para proteger al personal dedicado a detener el escape.
- Puede acumularse vapor en cualquier local cerrado. Si el derrame ha tenido lugar en un local cerrado, garantizar una buena ventilación y comprobar, antes de entrar, que ésta sea lo suficientemente segura.
- No entrar en una nube de vapor a menos que haya que efectuar un rescate; en ese caso hay que llevar un aparato de respiración autónoma. Utilizar indumentaria protectora.
- En caso de derrame, contactar con las autoridades competentes. En caso de que se derramen pequeñas cantidades es posible esperar hasta que se evaporen. Los vapores se dispersarán si existe una buena ventilación

Existencia del producto de control y mitigación en la entidad (especificar cantidad y capacidad de mitigación)

- ❖ Producto de control: Emplear pulverizadores de agua para dispersar el gas o vapor y para proteger al personal dedicado a detener el escape, además puede usarse polvo seco y dióxido de carbono.
- ❖ Cantidad: Hasta que se haya disipado el peligro.
- ❖ Capacidad de mitigación: alta

Peligros para la salud

- ❖ Concentración permisible: No disponible.
- ❖ Exposición permisible: No disponible.
- ❖ Emergencias:
 - Indicaciones generales: Las víctimas inconscientes deben colocarse en posición de reanimación. Controlar la respiración y el pulso. Si fallan la respiración y el pulso, debe asistirse a las víctimas preferiblemente por el método boca a boca y masaje cardíaco. Llamar al médico inmediatamente.
 - Tras Inhalación: Somnolencia y pérdida del conocimiento. Llevar al accidentado inmediatamente a un sitio al aire libre y mantenerlo en reposo. Respiración artificial si este estuviese indicado. Proporcionar asistencia médica.
 - Tras contacto con la piel: Si aparecen quemaduras en frío, mojar con agua y consultar inmediatamente a un médico. Alejar las ropas contaminadas de las fuentes de ignición.
 - Tras contacto con los ojos: En contacto con líquido: congelación. En caso de congelación, aclarar con abundante agua por varios minutos. No se debe quitar la ropa. Proporcionar asistencia médica.
- ❖ Partes del cuerpo que afecta: cualquier parte del cuerpo que tenga contacto con la sustancia.
- ❖ Forma de entrada al organismo: inhalación, piel, ojos.

- ❖ Toxicidad: El propano es non-toxic y es un asfixiador simple. Tiene características anestésicas leves, aunque concentraciones altas pueden causar vértigos. **Ver**

Tabla 3.2

- Irritación ojos: No irritable. El liquido causa quemaduras de frío.
- Irritación respiratoria: No irritable
- Carcinógeno: Este producto no ha sido evaluado con ensayos de exposición crónica a largo plazo.
- Mutágeno: No está considerado como peligro mutagénico.

Datos de reactividad:

- ❖ Estable a temperatura ambiente: No se producirán reacciones de polimerización peligrosas.
- ❖ Materiales a evitar: Evitar el contacto con agentes fuertemente oxidantes.
- ❖ Productos peligrosos de descomposición: La combustión puede generar gases peligrosos, incluyendo monóxido de carbono.

Condiciones de almacenamiento:

- Forma del recipiente -----Cilíndrico (balas) y horizontal
- Dimensiones del recipiente-----d=1.30m, h= 5 m
- Material de construcción-----Acero al carbono
- Protección del recipiente-----no
- Existencia de accesorios en el recipiente y su localización:
 - Válvula ---en la parte de abajo del tanque, en las entradas y salidas.
 - Bomba-----en la parte de lateral del tanque
 - Termómetro-----en el lateral del tanque
 - Manómetro-----en el lateral del tanque
- Fecha de fabricación del recipiente----- 1989
- Cantidad de sustancia almacenada-----8 m³
- Registro histórico de averías producidas en el recipiente. Casos de derrames, Salideros, etc. (definir fecha y cantidad de producto vertido).-----no
- Tipo de averías producidas-----no

- Condiciones de almacenamiento ----- a $P=810.6$ kPa y $T= 24$ °C
- Características de los alrededores del recipiente-----limpio, seco y con gravilla.

Condiciones para su uso en el proceso.

- Uso en el proceso-----Como sustancia refrigerante del gas dulce
- Condiciones en las que se usa la sustancia----- $P= 1216$ kPa y $T= 40$ °C
- Fallos ocurridos en estos equipos al operar con estas sustancias-----no
- Material de construcción de los equipos donde es usada-----acero al carbono
- Longitud de tubería que conduce la sustancia desde el punto de almacenamiento hasta el equipo donde es usada-----200 m
- Diámetro de la tubería-----2 pulg.
- Cantidad de accesorios y tipos en esa tubería (señalar que posición ocupa cada accesorio en la tubería o sea a qué distancia están ubicados con respecto al tubo de almacenamiento)
 - Bombas—2
 - Válvulas---- 2, en las entradas y salidas de todos las balas
- Protección del sistema de tuberías----no tiene

Identificación del producto

- Nombre del producto-----**Nafta**
- Fórmula Química----- C_5H_{12}
- Etiquetado de peligro (frases R y S) así como las que la identifican por otros efectos.
Frases R----- R12, R20/22, R36/37/38
Frases S----- S2, S7, S9, S16, S23, S 28, S29, S33, S36, S61, S62

Datos Físicos.

- Apariencia----- líquida
- Punto de ebullición----- 36 °C
- Punto de fusión----- -129.85 °C
- Solubilidad----- Insoluble en agua. Soluble en alcohol, éter, cloroformo, benceno
- Densidad----- 630 kg/m³

- TLV - Límite superior de inflamabilidad----- 8.3 % Volumen
- IPVS. Límite inferior de explosividad----- 1.4 % Volumen
- Punto de congelación----- --
- Temperatura de autoignición----- 260 °C
- Coeficiente de expansión----- --
- Temperatura de inflamación----- - 40 °C
- Biodegradabilidad----- con agua corriente
- Corrosión----- no es corrosivo

Formas de control y mitigación en casos de desastres:

Productos o técnicas empleados en el control y mitigación en caso de desastre.

❖ Medidas de lucha contra incendios:

Aplicar niebla de agua o agua pulverizada para enfriar las superficies expuestas al fuego (por ejemplo: contenedores) y para proteger al personal. Únicamente personal entrenado en lucha contra incendios deberá utilizar las mangueras contra incendios. Para el personal que combate el incendio y expuesto a gases y altas temperaturas se precisa protección respiratoria y ocular, guantes y trajes resistentes al calor.

❖ Medidas en caso de vertido accidental:

- Precauciones personales: Evitar contactos con la piel y los ojos. Eliminar las fuentes de ignición y asegurar una ventilación suficiente. El producto puede dañar el asfalto y hacer las superficies resbaladizas. Evacuar todo el personal innecesario. Allí donde la ventilación sea inadecuada llevar aparatos de respiración.
- Precauciones medioambientales:
 - Derrames sobre terreno: Eliminar las fuentes de ignición, advertir a los habitantes del lado hacia el que sopla el viento sobre el peligro de incendio/ explosión. Cortar la fuente si es posible. Evitar el acceso a drenajes, letrinas, vías fluviales y al subsuelo. Los vapores de gasolina son más pesados que el aire y se acumulan en drenajes, arroyos etc. Informar a las autoridades sobre

contaminaciones del suelo y la vegetación. Tomar medidas para minimizar la contaminación de aguas subterráneas.

- Derrames sobre el agua: Eliminar las fuentes de ignición. Avisar a las autoridades del puerto. No confinarse en la zona del escape. Retirar (el producto) de la superficie mediante recogedores de superficie o con absorbentes adecuados.
- Procedimientos de descontaminación: Emplear material absorbente. Almacenar y eliminar el residuo de acuerdo con la reglamentación al respecto

Existencia del producto de control y mitigación en la entidad (especificar cantidad y capacidad de mitigación)

- ❖ Producto de control: Espuma, polvo seco, polvo polivalente ABC, dióxido de carbono.
- ❖ Cantidad: Hasta que se haya disipado el peligro.
- ❖ Capacidad de mitigación: Alta

Peligros para la salud

- ❖ Concentración permisible: 2000 mg/m³
- ❖ Exposición permisible: 500 ppm
- ❖ Emergencias:
 - Ojos: Lavar los ojos inmediatamente con agua durante 15 minutos. Buscar ayuda médica en caso que se produzcan efectos adversos a los ojos.
 - Piel: Lavar la piel inmediatamente con agua durante 15 minutos. No utilizar disolventes o diluyentes. Retirar inmediatamente las prendas contaminadas a un área segura debido al peligro de incendio; Asegurarse de eliminar la contaminación. Obténgase ayuda médica en caso de que persista la irritación.
 - Inhalación: Si la inhalación de gases irrita la nariz, la garganta o causa tos, salir al aire fresco. Obtener ayuda médica. Si es preciso, administrar

respiración artificial (boca a boca) o aplicar oxígeno. Obtener ayuda médica inmediatamente.

- Ingestión: No provocar vómitos debido al peligro de aspiración. Lavar la boca con agua. Buscar ayuda médica inmediatamente Administrar agua o leche (1/2 litros) para beber.
- ❖ Partes del cuerpo que afecta: cualquier parte del cuerpo que tenga contacto con la sustancia.
- ❖ Forma de entrada al organismo: Por inhalación, ingestión, a través de la piel y los ojos.
- ❖ Toxicidad: **Ver Tabla 3.2**
 - Toxicidad aguda – ingestión: Su ingestión puede inducir el vómito y la posterior introducción en los pulmones, lo que puede causar neumonitis química, que puede ser mortal.
 - Toxicidad aguda – inhalación: Los vapores pueden causar somnolencia y vértigo, además una prolongada exposición a vapores por encima de los valores límites recomendados por la legislación vigente puede producir dolor de cabeza, mareos, náuseas, irritación de ojos y tracto respiratorio superior, alteración del ritmo cardíaco, convulsiones, asfixia, inconsciencia y, en algunos casos, de prolongarse la permanencia a exposiciones muy severas, puede ocasionar la muerte. En general evite inhalar cualquier hidrocarburo.
 - Irritación ocular: ligeramente irritante pero no daña el tejido ocular.
 - Irritación de la piel: irritante. : El contacto prolongado o repetido puede llevar a la deshidratación de la piel, eritema, dermatitis o acné de petróleo. Irritación pero de inferior orden de toxicidad aguda.
 - Sensibilización de la piel: no sensibiliza la piel.
 - Contacto dérmico: el contacto prolongado/repetitivo puede causar la pérdida de la capa superficial de grasa de la piel, lo que puede conducir a dermatitis y puede hacer que la piel sea más susceptible a irritación y a penetración de otras materias.

- Toxicidad crónica: Además de los efectos mencionados, se puede presentar pérdida de peso, baja de presión sanguínea, pérdida de la memoria y pérdida auditiva.
- Carcinogenicidad: designación de carcinogenicidad A3 (cancerígeno en animales)

Datos de reactividad:

- ❖ Estabilidad: El producto es estable bajo condiciones normales de operación. Inflamable y combustible.
- ❖ Condiciones a evitar: Fuentes de ignición, temperaturas elevadas, agua.
- ❖ Materiales a evitar: Evitar contacto con agentes oxidantes fuertes: cloratos, nitratos y peróxidos.
- ❖ Productos de descomposición peligrosos: No se verán involucrados productos peligrosos a temperaturas de ambiente.
- ❖ Polimerización peligrosa: no ocurre polimerización.
- ❖ Reactividad especial: ninguna
- ❖ Incompatibilidad con otros materiales: Evitar contacto con agentes oxidantes fuertes: cloratos, nitratos y peróxidos

Condiciones de almacenamiento:

- Forma del recipiente -----Cilíndrico y horizontal
- Dimensiones del recipiente-----d=6.55 m, h=6.096 m
- Material de construcción-----Acero al carbono
- Protección del recipiente----- Aterramiento y muro de contención
- Existencia de accesorios en el recipiente y su localización
 - Válvulas---2---- en la entrada y salida del tanque
 - Válvula de presión de vacío-----en la parte de arriba del tanque
 - Válvulas de emergencia-----2---en la parte superior del tanque.
- Fecha de fabricación del recipiente----- 1989
- Cantidad de sustancia almacenada-----191 m³
- Registro histórico de averías producidas en el recipiente. Casos de derrames,

- Salideros, etc. (definir fecha y cantidad de producto vertido).-----no
- Tipo de averías producidas-----no
- Condiciones de almacenamiento ----- a P y T atmosférica
- Características de los alrededores del recipiente-----limpio, seco y con gravilla.

Condiciones para su uso en el proceso.

- Uso en el proceso----- es un producto del proceso.
- Condiciones en las que se usa la sustancia----- P= 1500 kPa y T= 177 °C.
- Fallos ocurridos en estos equipos al operar con estas sustancias-----no
- Material de construcción de los equipos donde es usada----- acero al carbono
- Longitud de tubería que conduce la sustancia desde el punto de almacenamiento hasta el equipo donde es usada----- 200 m
- Diámetro de la tubería----- 2 pulg.
- Cantidad de accesorios y tipos en esa tubería (señalar que posición ocupa cada accesorio en la tubería o sea a qué distancia están ubicados con respecto al tubo de almacenamiento)
 - Bomba ---- 2
 - Válvulas---- 2, en las entradas y salidas del tanque
- Protección del sistema de tuberías----no tiene

Identificación del producto

- Nombre del producto-----**Gas licuado**
- Fórmula Química----- C₄H₁₀
- Etiquetado de peligro (frases R y S) así como las que la identifican por otros efectos.
Frases R----- R2, R3, R7, R10, R22, R25, R44, R52, R54, R55, R56.

Datos Físicos.

- Apariencia----- líquidos
- Punto de ebullición----- -32.5 °C
- Punto de fusión----- -167.9 °C

- Solubilidad----- Insoluble en agua. Soluble en alcohol, benceno, cloroformo y éter.
- Densidad----- 540 kg/ m³
- TLV - Límite superior de inflamabilidad----- 9.3 % Volumen
- IPVS. Límite inferior de explosividad-----1.8% Volumen
- Punto de congelación----- de líquido a presión atmosférica (-187 a -138) °C
- Temperatura de autoignición----- 435 °C
- Coeficiente de expansión----- 1 - 242
- Temperatura de inflamación----- -104 °C
- Biodegradabilidad----- con vapor de agua
- Corrosión----- No

Formas de control y mitigación en casos de desastres:

Productos o técnicas empleados en el control y mitigación en caso de desastre.

❖ Medidas en caso de incendios:

1. Fuga a la atmósfera de gas licuado, sin incendio: Esta es una condición realmente grave, ya que el gas licuado al ponerse en contacto con la atmósfera se vaporiza de inmediato, se mezcla rápidamente con el aire ambiente y produce nubes de vapores con gran potencial para explotar violentamente al encontrar una fuente de ignición. Por lo que podemos tomar las siguientes medidas para prevenir este incidente:
 - Asegurar anticipadamente que la integridad mecánica y eléctrica de las instalaciones estén en óptimas. condiciones (diseño, construcción y mantenimiento).
 - Si aún así llega a fallar algo, deben instalarse con precaución:
 - Detectores de mezclas explosivas, calor y humo con alarmas sonoras y visuales.
 - Válvulas de operación remota para aislar grandes inventarios, entradas, salidas, en prevención a la rotura de mangueras, etc., para actuarlas localmente o desde un refugio confiable (cuarto de control de instrumentos).

- Redes de aguas contraincendios permanentemente presionadas, con los sistemas de aspersión, hidrantes y monitores disponibles, con revisiones y pruebas frecuentes.
- Extintores portátiles.
- Personal de operación, mantenimiento, seguridad y contraincendios altamente entrenado y equipado para atacar incendios o emergencias.
- Simulacros operacionales (falla eléctrica, falla de aire de instrumentos, falla de agua de enfriamiento, rotura de manguera, rotura de ducto de transporte, etc.) y contraincendios.
- No intente apagar el incendio sin antes bloquear la fuente de fuga, ya que si se apaga y sigue escapando gas, se forma una nube de vapores con gran potencial explosivo. Pero deberá enfriar con agua rociada los equipos o instalaciones afectadas por el calor del incendio.

2. Formación de una nube de vapores no confinada, con incendio:

- Evacúe al personal del área y ponga en acción el Plan de Emergencia. En caso de no tener un plan de emergencia a la mano, retírese de inmediato lo más posible del área contrario a la dirección del viento.
- Proceda a bloquear las válvulas que alimentan gas a la fuga y ejecute las instrucciones operacionales o desfogue al quemador, mientras enfría con agua, tuberías y recipientes expuestos al calor (el fuego, incidiendo sobre tuberías y equipos, provoca presiones excesivas). No intente apagar el incendio sin antes bloquear la fuente de fuga, ya que si se apaga y sigue escapando gas, se forma una nube de vapores con gran potencial explosivo, lastimando al personal involucrado en las maniobras de ataque a la emergencia.

- ❖ Medidas en caso de vertido accidental: Evacuar o aislar el área de peligro. Eliminar toda fuente de ignición. Restringir el acceso a personas innecesaria y sin la debida protección. Usar equipo de protección personal. Ventilar el área. Cortar el flujo de gas.

Existencia del producto de control y mitigación en la entidad (especificar cantidad y capacidad de mitigación)

- ❖ Producto de control: Polvo químico seco (púrpura K = bicarbonato de potasio, bicarbonato de sodio, fosfato monoamónico) bióxido de carbono, agua en atomizador, espuma o dióxido de carbono. Apague el fuego, solamente después de haber bloqueado la fuente de fuga.
- ❖ Cantidad: Hasta que se haya disipado el peligro.
- ❖ Capacidad de mitigación: Alta

Peligros para la salud

- ❖ Concentración permisible: No disponible
- ❖ Exposición permisible: No disponible
- ❖ Emergencias
 - Ojos: La salpicadura de este líquido puede provocar daño físico a los ojos desprotegidos, además de quemadura fría; aplicar de inmediato y con precaución agua tibia. Busque atención médica inmediata.
 - Piel: Las salpicaduras de este líquido provocan quemaduras frías; deberá rociar o empapar el área afectada con agua tibia o corriente. No use agua caliente. Quítese la ropa y los zapatos impregnados. Solicite atención médica inmediata.
 - Inhalación: Si se detecta presencia de gas en la atmósfera, retire a la víctima lejos de la fuente de exposición, donde pueda respirar aire fresco. Si no puede ayudar o tiene miedo, aléjese de inmediato. Si la víctima no respira, inicie de inmediato la reanimación o respiración artificial (RCP = reanimación o respiración cardio-pulmonar). Si presenta dificultad al respirar, personal calificado debe administrar oxígeno medicinal. Solicite atención médica inmediata.
 - Ingestión: La ingestión de este producto no se considera como una vía potencial de exposición.
- ❖ Partes del cuerpo que afecta: Cualquier parte del cuerpo que entre en contacto directo con la sustancia.

- ❖ Forma de entrada al organismo: A través de la piel, ojos, inhalación e ingestión.
- ❖ Toxicidad: El gas licuado no es tóxico; es un asfixiante simple que, sin embargo, tiene propiedades ligeramente anestésicas y que en altas concentraciones produce mareos. No se cuenta con información definitiva sobre características carcinogénicas, mutagénicas, órganos que afecte en particular, o que desarrolle algún efecto tóxico. **(Ver tabla 3.2)**

Datos de reactividad:

- ❖ **Estabilidad Química:** Estable en condiciones normales de almacenamiento y manejo.
- ❖ **Condiciones a Evitar:** Manténgalo alejado de fuentes de ignición y calor intenso, así como de oxidantes fuertes.
- ❖ **Productos Peligrosos de Combustión:** Los gases o humos, productos normales de la combustión son bióxido de carbono, nitrógeno y vapor de agua. La combustión incompleta puede formar monóxido de carbono (gas tóxico), ya sea que provenga de un motor de combustión o por uso doméstico. También puede producir aldehídos (irritante de nariz y ojos) por la combustión incompleta.

Condiciones de almacenamiento:

- Forma del recipiente ----- Cilíndrico (balas) y horizontal
- Dimensiones del recipiente----- d=3.277m, h=24.7 m
- Material de construcción----- Acero al carbono
- Protección del recipiente-----
- Existencia de accesorios en el recipiente y su localización
- Fecha de fabricación del recipiente----- 1989
- Cantidad de sustancia almacenada----- 208 m³
- Registro histórico de averías producidas en el recipiente. Casos de derrames, Salideros, etc. (definir fecha y cantidad de producto vertido).-----no
- Tipo de averías producidas-----no
- Condiciones de almacenamiento ----- a P y T atmosférica
- Características de los alrededores del recipiente-----limpio y con gravilla

Condiciones para su uso en el proceso.

- Uso en el proceso----- es un producto del proceso
- Condiciones en las que se usa la sustancia----- T=50-60 °C y P= 1500kPa
- Fallos ocurridos en estos equipos al operar con estas sustancias-----no
- Material de construcción de los equipos donde es usada-----acero al carbono
- Longitud de tubería que conduce la sustancia desde el punto de almacenamiento hasta el equipo donde es usada----- 50 m
- Diámetro de la tubería----- 2 pulg
- Cantidad de accesorios y tipos en esa tubería (señalar que posición ocupa cada accesorio en la tubería o sea a qué distancia están ubicados con respecto al tubo de almacenamiento)
 - Bomba ---- 2
 - Válvulas---- 2, en las entradas y salidas del tanque
- Protección del sistema de tuberías----no tiene

Identificación del producto:

- Nombre del producto-----**Sulfuro de hidrógeno**
- Fórmula Química-----H₂S
- Etiquetado de peligro (frases R y S) así como las que la identifican por otros efectos.
Frases R----- R12, R26, R50
Frases S----- S1, S2, S9, S16, S36, S38, S45, S61

Datos Físicos.

- Apariencia----- gas
- Punto de ebullición----- -60.15 °C
- Punto de fusión----- -86.15 °C
- Solubilidad----- soluble en agua
- Densidad----- 1.5 kg/m³
- TLV - Límite superior de inflamabilidad----- 45 % volumen
- IPVS. Límite inferior de explosividad----- 4.6 % volumen

- Punto de congelación----- -82.2 °C
- Temperatura de autoignición----- 270 °C
- Coeficiente de expansión----- --
- Temperatura de inflamación----- -82.4 °C
- Biodegradabilidad----- No
- Corrosión----- Si

Formas de control y mitigación en casos de desastres:

Productos o técnicas empleados en el control y mitigación en caso de desastre.

❖ Medidas en caso de incendio:

- Cortar el suministro, si no es posible y no existe riesgo para el entorno próximo , dejar que el incendio se extinga por si mismo
- En otros casos apagar con agua pulverizada, polvo, dióxido de carbono o agua corriente.

❖ Medidas en caso de derrames y fugas:

- Evacuar la zona de peligro
- Consultar a un experto
- Eliminar todas las fuentes de ignición
- Eliminar gas con agua pulverizada

Existencia del producto de control y mitigación en la entidad (especificar cantidad y capacidad de mitigación)

- ❖ Producto de control: Agua pulverizada, polvo o dióxido de carbono.
- ❖ Cantidad: Hasta que se haya disipado el peligro.
- ❖ Capacidad de mitigación: Alta

Peligros para la salud

- ❖ Concentración permisible: 100 ppm
- ❖ Exposición permisible: 20-100 ppm. Evitar todo contacto con la sustancia, aunque los efectos de exposición de corta duración pueden ser: irritación de los ojos y el tracto respiratorio. La inhalación del gas puede originar edema pulmonar. La

evaporación rápida del líquido puede producir congelación. La sustancia puede causar efectos en el sistema nervioso central. La exposición puede producir pérdida del conocimiento. La exposición puede producir la muerte. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata.

❖ Emergencias

- Inhalación: Puede causar tos, vértigo, dolor de cabeza, dificultad respiratoria, náuseas, pérdida del conocimiento, dolor de garganta, por lo que se indica es que se busque asistencia médica.
- Piel: Provoca congelación por lo que se recomienda aclarar con abundante agua, no quitar la ropa y proporcionar asistencia médica.
- Ojos: Enrojecimiento, dolor, quemaduras profundas graves por lo que se debe enjuagar con abundante agua durante varios minutos y después proporcionar asistencia médica.

❖ Partes del cuerpo que afecta: cualquier parte del cuerpo que tenga contacto con él.

❖ Forma de entrada al organismo: A través de la piel, ojos, ingestión e inhalación.

❖ Toxicidad: Puede producir irritación, además puede tener efectos cancerígenos.

Datos de reactividad:

- ❖ Estabilidad: estable
- ❖ Polimerización peligrosa: no
- ❖ Descomposición o derivados peligrosos: ninguno

Condiciones de almacenamiento:

- Forma del recipiente ----- cilíndricas y horizontales
- Dimensiones del recipiente----- d= 3.048 m y h= 9.144 m
- Material de construcción-----acero inoxidable
- Protección del recipiente-----pintura anticorrosiva

- Existencia de accesorios en el recipiente y su localización:
 - Válvula ---a 30 cm del fondo del tanque, en las entradas y salidas.
 - Nivel-----arriba
 - Válvula de emergencia-----en la parte superior del tanque.
- Fecha de fabricación del recipiente----- 1989
- Cantidad de sustancia almacenada----- 67 m³
- Registro histórico de averías producidas en el recipiente. Casos de derrames, Salideros, etc. (definir fecha y cantidad de producto vertido).-----no
- Tipo de averías producidas-----no
- Condiciones de almacenamiento----- P= 230 Kpa y T=26.7 °C
- Características de los alrededores del recipiente----- limpio, con gravilla

Condiciones para su uso en el proceso.

- Uso en el proceso----- es un producto del proceso y se usa para la producción de azufre.
- Condiciones en las que se usa la sustancia----- P= 230 Kpa y T=26.7 °C
- Fallos ocurridos en estos equipos al operar con estas sustancias-----no
- Material de construcción de los equipos donde es usada----- acero inoxidable
- Longitud de tubería que conduce la sustancia desde el punto de almacenamiento hasta el equipo donde es usada----- 200m
- Diámetro de la tubería----- 2pulg.
- Cantidad de accesorios y tipos en esa tubería (señalar que posición ocupa cada accesorio en la tubería o sea a qué distancia están ubicados con respecto al tubo de almacenamiento)
 - Válvulas: 3
 - Válvula de emergencia
 - Alarma por nivel high-high
- Protección del sistema de tuberías-----no tiene

Indicación de riesgos específicos

R1	Explosiva al secarse
R2	Riesgo de explosión por choque eléctrico, fricción, fuego u otras fuentes de ignición
R3	Riesgo extremo de explosión por choque eléctrico, fricción, fuego u otras fuentes de ignición
R4	Forma compuestos metálicos explosivos muy sensibles
R5	El calentamiento puede causar la explosión de la sustancia
R6	Explosiva en o sin contacto con el aire
R7	Puede causar incendios
R8	En contacto con material combustible, puede causar incendios
R9	Explosiva al ser mezclada con material combustible
R10	Inflamable
R11	Sumamente inflamable
R12	Extremadamente inflamable
R13	Gas licuado extremadamente inflamable
R14	Reacciona violentamente con el agua
R15	Libera gases sumamente inflamables en contacto con el agua
R16	Explosiva al mezclarse con sustancias oxidantes
R17	Espontáneamente inflamable en el aire
R18	Al usarla, puede formar una mezcla de aire-vapor inflamable-explosiva
R19	Puede formar peróxidos explosivos
R20	Dañina al ser inhalada
R21	Dañina en contacto con la piel
R22	Dañina al ser ingerida
R23	Tóxica al ser inhalada
R24	Tóxica en contacto con la piel
R25	Tóxica al ser ingerida
R26	Muy tóxica al ser inhalada
R27	Muy tóxica en contacto con la piel
R28	Muy tóxica al ser ingerida
R29	Libera gas tóxico en contacto con el agua
R30	Puede volverse sumamente inflamable al ser usada

Anexo # 4.
Clasificación de las sustancias según las frases R y S.

R31	Libera gas tóxico en contacto con ácidos
R32	Libera gas muy tóxico en contacto con ácidos
R33	Peligro de efectos acumulativos
R34	Causa quemaduras
R35	Causa quemaduras graves
R36	Irrita los ojos
R37	Irrita el sistema respiratorio
R38	Irrita la piel
R39	Peligro de efectos irreversibles muy graves
R40	Posible riesgo de efectos irreversibles
R41	Riesgo de grave daño a los ojos
R42	Puede causar sensibilización al ser inhalada
R43	Puede causar sensibilización en contacto con la piel
R44	Riesgo de explosión al calentarse en un ambiente cerrado
R45	Puede causar cáncer
R46	Puede causar daño genético hereditario
R47	Puede causar defectos de nacimiento
R48	Peligro de grave daño para la salud por exposición prolongada
R49	Puede causar cáncer al ser inhalada
R50	Muy tóxica para organismos acuáticos
R51	Tóxica para organismos acuáticos
R52	Dañina para organismos acuáticos
R53	Puede causar efectos adversos de largo plazo en el ambiente acuático
R54	Tóxica para la flora
R55	Tóxica para la fauna
R56	Tóxica para los organismos del suelo
R57	Tóxica para las abejas
R58	Puede causar efectos adversos de largo plazo en el ambiente
R59	Peligrosa para la capa de ozono
R60	Puede perjudicar la fertilidad
R61	Puede causar daño fetal
R62	Posible riesgo de pérdida de fertilidad
R63	Posible riesgo de daño fetal
R64	Puede causar daño a lactantes

Continuación.

Anexo # 4.

Indicaciones sobre precauciones de seguridad

S1	Manténgase cerrado
S2	Manténgase fuera del alcance de los niños
S3	Manténgase en un lugar fresco
S4	Manténgase lejos de las viviendas
S5	Manténgase el contenido en ... (líquido apropiado que debe ser especificado por el fabricante)
S6	Manténgase en ... (gas inerte que debe ser especificado por el fabricante)
S7	Manténgase el envase herméticamente cerrado
S8	Manténgase el envase seco
S9	Manténgase el envase en un lugar bien ventilado
S12	No mantener el envase sellado
S13	Manténgase lejos de alimentos, bebidas y forraje
S14	Manténgase lejos de ... (materiales incompatibles que deben ser indicados por el fabricante)
S15	Manténgase lejos del calor
S16	Manténgase lejos de fuentes de ignición - NO FUMAR
S17	Manténgase lejos de material combustible
S18	Manipúlese y ábrase el envase con cuidado
S20	No comer ni beber cuando se use
S21	No fumar cuando se use
S22	No inhalar el polvo
S23	No inhalar el gas-humo-vapor-rocío (los términos apropiados deben ser especificados por el fabricante)
S24	Evítese el contacto con la piel
S25	Evítese el contacto con los ojos
S26	En caso de haber contacto con los ojos, enjuáguese de inmediato con abundante agua y busque asistencia médica
S27	Quítese de inmediato toda la ropa contaminada
S28	Después del contacto con la piel, lavar de inmediato con abundante ... (debe ser especificado por el fabricante)
S29	No vaciar en los desagües
S30	Nunca agregar agua a este producto

Anexo # 4. Continuación.

- S33 Tomar medidas preventivas contra descargas estáticas
- S34 Evítense golpes y fricciones
- S35 Este material y su envase deben desecharse de manera segura
- S36 Usar ropa protectora apropiada
- S37 Usar guantes apropiados
- S38 En caso de ventilación insuficiente, úsese el equipo de respiración apropiado
- S39 Úsese protección para ojos y cara
- S40 Para limpiar el piso y todos los objetos contaminados por este material úsese ... (debe ser especificado por el fabricante)
- S41 En caso de incendios o explosiones, no inhalar el humo
- S42 Durante la fumigación o rociado, usar equipo de respiración apropiado (los términos adecuados deben ser especificados por el fabricante)
- S43 En caso de incendio, usar ... (indíquese en el espacio el tipo específico de equipo contra incendios. Si el agua aumenta el riesgo, hay que indicar: "Nunca usar agua")
- S44 En caso de accidente o indisposición, buscar asistencia médica (mostrar la etiqueta si es posible)
- S45 En caso de accidentes o indisposición, buscar asistencia médica de inmediato (mostrar la etiqueta si es posible)
- S46 En caso de ingestión, buscar asistencia médica de inmediato y mostrar el envase o la etiqueta
- S47 Manténgase a temperatura no mayor que ... °C (debe ser especificada por el fabricante)
- S48 Manténgase humedecido con ... (material apropiado que debe ser especificado por el fabricante)
- S49 Manténgase únicamente en el envase original
- S50 No mezclar con ... (debe ser especificado por el fabricante)
- S51 Úsese solo en áreas bien ventiladas
- S52 No recomendable para ser usado en interiores
- S53 Evítese la exposición - obtener instrucciones especiales antes de su uso
- S54 Obtener el consentimiento de las autoridades de control de la contaminación antes de descargar en plantas de tratamiento de aguas residuales
- S55 Tratar con las mejores técnicas disponibles antes de descargar en desagües o ambientes acuáticos

Anexo # 5. Comportamiento de las variables climatológicas para la zona objeto de estudio en la década 2000-2009.

Tabla 5a. Comportamiento de los valores medio de la nubosidad para el período estudiado.

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2000	5	4	4	3	3	4	5	4	5	5	4	3
2001	4	4	4	3	3	5	4	4	3	5	4	4
2002	4	3	4	4	3	4	5	5	5	4	4	5
2003	4	5	4	3	4	5	5	4	5	3	5	4
2004	3	5	5	4	5	5	5	5	4	3	5	4
2005	5	4	5	3	4	5	4	5	4	5	5	4
2006	5	4	4	3	4	5	5	5	4	4	5	3
2007	4	5	4	3	5	3	5	4	5	4	4	5
2008	3	3	4	4	5	4	4	3	4	4	4	4
2009	4	4	3	4	5	5	5	5	5	5	5	4
Media	4	4	4	3	4	5	5	5	5	4	5	4
coef.variac	17.9967	17.9967	13.845	15.1882	21.356	15.7135	10.2776	15.891	15.891	18.7812	11.7121	16.6667
desv.estand	0.7378	0.7378	0.5676	0.5163	0.8755	0.7071	0.483	0.6992	0.6992	0.7888	0.527	0.6666

Anexo #5. Continuación.

Tabla 5b. Comportamiento de los valores medio de la temperatura máxima para el período estudiado.

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2000	26	25.7	28	29.6	30.5	30.4	31.3	31.2	30.7	29.2	27.2	26.4
2001	27	26.8	27.5	28.7	30.9	29.7	31.9	30.9	31.6	29	26.5	26.6
2002	26.5	25.7	28	29.9	29.7	30.7	30.8	31.9	30.8	28.5	27.2	26.5
2003	25.4	25.9	28.4	30.3	30.5	30.8	31.9	31.8	29.5	28.8	27.6	27.4
2004	25.5	26.5	28.2	29.3	31.8	29.5	31.5	30.9	30.7	29.5	27.9	27.3
2005	26.7	25.8	28.8	30.9	30.8	31.8	30.9	31.8	31.7	30.5	26.6	25.8
2006	25	27	28.4	28.9	30.9	31.5	31.8	30.9	29.9	30.6	27.5	26.9
2007	26.6	24.5	28	29.2	31.6	29.9	31.6	30.9	30.9	29.8	28.8	27
2008	25.9	25.9	28.1	29.8	30.9	30.5	30.9	30.8	31.9	29.5	26	26.5
2009	26.9	25.4	28.6	30.5	31.8	30.6	31.7	31.9	30.5	30	27.9	25
Media	26.15	25.92	28.2	29.71	30.94	30.54	31.43	31.3	30.82	29.54	27.32	26.54
coef.variac	2.6448	2.7808	1.3056	2.3929	2.1177	2.3972	1.3668	1.5506	2.4842	2.3572	2.9726	2.6949
desv.estand	0.6916	0.7208	0.3681	0.7109	0.6552	0.7321	0.4295	0.4853	0.7656	0.6963	0.8121	0.7152

Anexo # 5. Continuación.

Tabla 5c. Comportamiento de los valores medio de la temperatura media para el período estudiado.

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2000	20.7	20.6	22.6	24.3	25.5	25.8	26.4	26.2	25.6	24.7	22.8	21.3
2001	22.6	21.7	23	25.4	25.8	28	27.4	25	24.8	24.6	22.8	22.7
2002	19.8	19.6	24	25.6	26.6	24.5	27	26.6	26.4	23.5	19.8	20.8
2003	20.1	20.2	22.8	24.9	26.4	24.9	26	25.9	26.6	23.8	22	21.5
2004	19.9	21.2	19.8	22.6	24.8	25.4	26.6	26.9	25.8	25.7	23.8	20.8
2005	19.8	19.7	23.8	25.7	24.3	25.8	25.8	26.7	24.6	25.7	24	19.8
2006	21.2	20.5	22	22.8	26.8	26.5	26.2	25.5	26.8	25.6	23.5	22.6
2007	20.8	21	24.1	23.5	23.9	24.2	25	25.4	23.9	24.9	23.6	19.9
2008	22.4	21.4	19.9	24.6	24.9	25.7	26	26.5	24.9	23.8	20.9	21.6
2009	18.8	19.9	23.6	22.9	25.5	26.8	27	27	25.7	23.9	24.1	20.9
media	20.6	20.5	22.5	24.2	25.4	25.7	26.3	26.1	25.5	24.6	22.7	21.2
coef.variac	5.8109	3.5618	6.9811	4.9603	3.8464	4.3965	2.6557	2.6354	3.7117	3.4507	6.3009	4.5940
desv.estand	1.1361	0.6958	1.4942	1.1402	0.9288	1.0745	0.6637	0.6546	0.8982	0.806	1.3587	0.9235

Anexo # 5. Continuación.

Tabla 5d. Comportamiento de los valores medio de la temperatura mínima para el período estudiado.

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2000	15.6	15.5	17	18.5	20.6	21.7	21.8	21.7	21.6	20.7	18.6	16.5
2001	16.2	16.2	16.8	18.4	19.5	22.2	23.5	22.5	21.8	19.3	18.7	16.6
2002	16.1	16.1	18.5	18.5	21.3	22.5	22.5	21.7	21.6	21.3	18.4	17.2
2003	15.8	15.5	17	18.5	20.1	21.6	23.1	20.8	21.7	20.1	19.5	16.5
2004	15.9	15.4	16.6	19.5	20.3	21.7	20.9	21.9	20.8	20.5	19.3	15.8
2005	15.3	14.8	17.3	17.8	21.7	20.9	21.7	22	22.5	21.5	17.6	15.9
2006	14.9	15.4	16.8	17.9	19.8	20.8	20.8	22.8	21.9	20.9	18.5	17.2
2007	15.6	15.9	17.1	18.9	21.6	22.8	21	20.9	20.9	21.4	18.9	16.6
2008	15.8	16	17.5	19.2	21.5	21.9	21.9	21.6	22.5	21.7	19.5	16.7
2009	16	15.2	16.9	18.8	20.5	22	22	22.2	21.8	20.6	18.2	17
media	15.7	15.6	17.1	18.6	20.7	21.8	21.9	21.8	21.7	20.8	18.7	16.6
coef.variac	2.487	2.834	3.149	2.833	3.822	2.887	4.146	2.887	2.573	3.511	3.222	2.868
desv.estand	0.391	0.4422	0.5400	0.5270	0.790	0.6297	0.9089	0.6297	0.5586	0.7302	0.6033	0.4760

Anexo #5. Continuación.

Tabla 5e Comportamiento de los valores medio de la humedad relativa para el período estudiado.

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2000	78	75	74	73	78	83	81	82	84	84	81	79
2001	79	74	74	74	77	84	79	83	83	84	82	78
2002	78	76	74	72	78	83	80	81	83	83	81	80
2003	79	74	75	74	79	82	83	83	84	84	82	79
2004	77	75	73	73	77	82	81	83	85	85	81	78
2005	78	75	74	73	78	84	82	82	83	83	83	80
2006	78	76	75	72	79	83	81	81	84	83	80	80
2007	78	75	73	74	79	83	82	82	84	85	79	78
2008	76	74	73	72	78	82	81	81	85	85	80	79
2009	79	76	75	73	77	84	80	82	85	84	81	79
Media	78	75	74	73	78	83	81	82	84	84	81	79
coef.variac	1.2087	1.0886	1.1033	1.1184	1.0467	0.9837	1.4255	0.9957	0.972	0.972	1.4255	1.0335
desv.estand	0.9448	0.8164	0.8164	0.8164	0.8164	0.8164	1.1547	0.8164	0.8164	0.8164	1.1547	0.8164

Anexo #5. Continuación.

Tabla 5f. Comportamiento de los valores medio de la velocidad y frecuencia de ocurrencia de los vientos para la década 2000 - 2009.

Rumbos	Frecuencia (%)	Velocidad media Km/h
N	6.7	12.5
NNE	5.8	14.7
NE	9.4	15
ENE	9.1	16.9
E	15.7	15.4
ESE	4	14.3
SE	1.5	12.7
SSE	1.5	10.9
S	3.5	10.6
SSW	3	10
SW	1.8	8.7
WSW	2.1	8.4
W	0.7	9.9
WNW	0.7	12
NW	0.4	12.5
NNW	1.1	13.4

Fuente: Elaboración propia

Anexo # 6. Efectos del H₂S por concentraciones.

1 ppm	Se puede oler.
10 ppm	Límite máximo tolerable durante 8 horas continuas de trabajo o punto en el cual hay que colocarse la máscara de oxígeno.
20 ppm	Limite de exposición cero.
100 ppm	Se deja de oler de 2-15 minutos (puede arder la garganta, causar dolor de cabeza y nausea).
200 ppm	Se deja de oler rápidamente (arde la garganta y los ojos).
500 ppm	Se pierde el razonamiento, equilibrio y coordinación. En 2-15 minutos aparecen problemas respiratorios y se necesita resucitación inmediata.
700 ppm	Inmediata pérdida del conocimiento, convulsiones, pérdida de control de esfínteres y vientre.
1000 ppm	Se interrumpe la respiración y se alcanza la muerte a menos que se practique resucitación inmediata.
+1000 ppm	Inmediata pérdida del conocimiento. Provoca la muerte o daño cerebral permanentemente a menos que se rescate inmediatamente.

Fuente: Irving (2003)